



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão do Curso

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Apresentada por:

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Orientador:

Prof. Marco Reis, M.Eng.

Novembro de 2018

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao , Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia**.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Salvador
Centro Universitário SENAI CIMATEC
2018

Resumo

A manutenção de linhas de alta tensão além de ser uma atividade de alto custo é uma prática de alto risco a integridade física do operador. De modo a substituir o trabalho humano em atividades de risco, soluções em robótica estão cada vez mais frequentes por conta da confiabilidade empregada. O Electrical Inspection Robot (ELIR) é um robô para inspeção em linhas de alta tensão através inspeção térmica, o seu sistema de Percepção conta com uma série de sensores e é capaz de disponibilizar ao usuário final todas as ocorrências realizadas durante a missão bem como data, horário e localização. Este trabalho de conclusão de curso descreve a metodologia, conceitos e resultados obtidos durante o desenvolvimento do sistema de percepção do ELIR, o trabalho conta com a participação de estudantes de graduação e doutorado da instituição a fim de promover pesquisa e desenvolvimento na área de robótica.

Palavras-chave: Linhas de transmissão, Inspeção, Robótica, Pontos quentes

Abstract

The maintenance of high voltage lines is a high-cost and dangerous activity for the employee's physical integrity. To replace human performance in risky activities, many robotic solutions are being implemented because of the reliability involved. The Electrical Inspection Robot (ELIR) is a high voltage line inspection robot using thermal imaging, its sensing system has several sensors and is capable of displaying all occurrences detected during the mission and informing the date, time and location of each one. This final course project describes the methodology, concepts and the results obtained during the perception system development. This report counts with undergraduate and doctorate students with the goal to promote development and research on robotics area.

Keywords: Electrical Lines, Inspection, Robotics, Hot Spots

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.1.1	Objetivos Específicos	1
1.2	Justificativa	1
1.3	Requisitos do cliente	1
1.4	Organização do Trabalho de Conclusão do Curso	2
2	Conceito do Sistema	3
2.1	Especificação técnica do sistema de Percepção	4
2.2	Arquitetura geral do sistema de Percepção	5
2.3	Arquitetura de software do sistema de Percepção	7
2.3.1	Driver Layer	8
2.3.2	Business Layer	8
2.3.3	User Interface Layer	9
2.4	Desenvolvimento do Projeto	9
3	Materiais e Métodos	10
3.1	Lista de componentes	10
3.2	Diagramas mecânicos do sistema de Percepção	11
3.2.1	Suporte dos sensores	11
3.3	Modelo esquemático de alimentação e comunicação	12
3.3.1	Diagramas elétricos e eletrônicos	13
3.4	Especificação das funcionalidades	13
3.4.1	Aquisição	14
3.4.1.1	Objetivo	15
3.4.1.2	Dependências	16
3.4.1.3	Premissas	16
3.4.1.4	Saídas	16
3.4.2	Localização	17
3.4.2.1	Objetivo	17
3.4.2.2	Dependências	17
3.4.2.3	Premissas	18
3.4.2.4	Saídas	18
3.4.3	Detecção	18
3.4.3.1	Objetivo	18
3.4.3.2	Dependências	19
3.4.3.3	Premissas	19
3.4.3.4	Saídas	19
3.5	Interface do Usuário	20
4	Resultados	21
4.1	Testes unitários	21
4.1.1	Câmera Térmica	21
4.1.2	Sonar EZ-1	22
4.1.3	Sensor de Proximidade	23

4.1.4	<i>Smart Charger</i>	24
4.1.5	Sensor de Temperatura	25
4.1.6	GPS	25
4.1.7	IMU	26
4.2	Integração no ROS	27
4.2.1	Phidgets	27
4.2.2	Smart Charger	27
4.2.3	Câmera Térmica	28
4.2.4	GPS	29
4.2.5	IMU	29
4.3	Testes integrados	30
4.4	Trabalhos futuros	30
5	Conclusão	31
5.1	Considerações finais	31
A	QFD	32
B	Diagramas mecânicos	37
C	Diagramas eletro-eletrônicos	52
D	Wireframes	64
E	Logbook	66
F	Lista de componentes	67
	Referências	70

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

2.1	Estrutura básica do ROS	4
2.2	Arquitetura Geral da Perception	5
2.3	Arquitetura Geral da Perception	7
3.1	Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR	11
3.2	Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos	12
3.3	Prateleira para suporte com sensores	13
3.4	Prateleira para suporte dos componentes de alimentação	14
3.5	Fluxograma da Funcionalidade Aquisição	15
3.6	Nível de criticidade dos sensores	16
3.7	Fluxograma da Funcionalidade Localização	17
3.8	Fluxograma da Funcionalidade Detecção	19
4.1	Lepton LWIR	21
4.2	Mensagem do frame da câmera	22
4.3	Esquemático do <i>Frame</i> da Câmera Térmica	22
4.4	Sonar EZ-1	23
4.5	Sensor de proximidade E18-D80NK	24
4.6	Protocolo de comunicação do <i>Smart Charger</i> e das baterias	24
4.7	Sensor de Temperatura LM35	25
4.8	GPS Piksi v2.3.1	26
4.9	IMU Xsens Mtí-1	26
4.10	Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias	28
4.11	Esquemático do processamento da imagem	29
C.1	Esquemático Geral	53
C.2	Esquemático - Smart Charger	54
C.3	Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia	55
C.4	Esquemático - NUC	56
C.5	Esquemático - Phidgets	57
C.6	Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera	58
C.7	Esquemático - ZED Camera	59
C.8	Esquemático - HUB dos Atuadores 1	60
C.9	Esquemático - HUB dos Atuadores 2	61
C.10	Esquemático - HUB dos Atuadores 3	62
C.11	Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade	63
D.1	Dashboard - Main page	64
D.2	Dashboard - Actuators Info Page	65

Introdução

1.1 *Objetivos*

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o sistema de percepção para um robô de inspeção de linhas de transmissão ELIR (Electrical Line Inspection Robot).

1.1.1 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Detectar pontos quentes nas linhas de transmissão;
- Desenvolver o sistema georeferenciamento do robô;
- Elaborar o sistema de segurança do robô (Análise de temperatura, consumo e Capacidade da Bateria);
- Construir interface de comunicação com o usuário para apresentar as informações de segurança do robô, informação dos atuadores e todas as ocorrências da missão.

1.2 *Justificativa*

1.3 *Requisitos do cliente*

O desenvolvimento do sistema de percepção para o robô ELIR teve como fundamento os requisitos técnicos proposto pelo cliente do projeto. Os requisitos estão apresentados detalhadamente nos tópicos a seguir.

- **Inspeção de Temperatura dos cabos, estrutura e obstáculos:** Devem ser disponibilizadas as informações de medição de temperatura dos cabos, estrutura da linha e de seus obstáculos. Esses dados devem ser obtidos através da câmera térmica para inspeção

- **Georreferenciamento dos eventos:** Todos os eventos de detecção de pontos quentes, sobretemperatura e sobrecorrente devem ser sinalizados em um *logfile* informando a data, horário e coordenadas geográficas obtidos pelo GPS.
- **Disponibilizar os vídeos dos eventos:** A inspeção realizada pela câmera térmica deve ser disponibilizada em tempo real na interface gráfica do robô.
- **Identificação de posicionamento da garra no cabo:** A fim de garantir a confiabilidade da operação, deve ser realizado uma verificação do alinhamento das garras no cabo da linha de alta tensão.
- **Inspeção da linha de servidão:** Devem ser disponibilizadas informações de objetos até sete metros abaixo do robô
- **Monitorar temperatura do protótipo:** A temperatura da parte interna do protótipo deve ser monitorada para garantir a segurança dos equipamentos eletrônicos presentes.

1.4 Organização do Trabalho de Conclusão do Curso

Este documento apresenta 5 (cinco) capítulos e está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Contextualiza o âmbito no qual a pesquisa proposta está inserida. Apresenta, portanto, a definição do problema, objetivos e justificativas da pesquisa e como este trabalho de conclusão do curso está estruturado;
- **Capítulo 2 - Conceito do Sistema:** Descreve como o sistema de Percepção é composto, apresenta a especificação técnica, a arquitetura geral do sistema, a arquitetura de software e os requisitos técnicos;
- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Apresenta os materiais utilizados no projeto, explica os suportes mecânicos criados, o diagrama elétrico e o desenho da placa desenvolvida, além das especificações de cada funcionalidade do sistema;
- **Capítulo 4 - Resultados:** Apresenta a descrição dos testes unitários e integrados realizados;
- **Capítulo 5 - Conclusão:** Apresenta as conclusões, contribuições e algumas sugestões de atividades de pesquisa a serem desenvolvidas no futuro.

Conceito do Sistema

Para um robô, o ambiente é um mar de ambiguidades, no qual ele vai afundar ou nadar a depender da robustez de sua percepção.

([FITZPATRICK, 2003](#))

A percepção é, de acordo com o dicionário [Michaelis \(2004\)](#), a capacidade de distinguir por meio dos sentidos ou da mente.

Segundo [Thorpe et al. \(2003\)](#), este é o ponto fraco mais comum em robôs pois para garantir sua segurança e confiabilidade é necessário que o mesmo tenha a capacidade de interpretar as variáveis ambientais. A percepção é o que torna os robôs diferentes de simples mecanismos, pois é ela quem dá a habilidade de adequar suas operações de acordo com as influências externas.

A percepção do ELIR pode ser definida como um sistema integrado de sensoriamento e processamento, em que seus dados serão utilizados como parâmetros de tomada de decisão para o sistema de atuação e disponibilizados para o operador durante a missão de inspeção. O sistema de atuação é responsável por toda a parte de movimentação do robô. Este sistema não faz parte do escopo deste trabalho.

A Percepção é o sistema de sensoriamento do robô e pode ser entendida como a forma que ele comprehende o que está ao seu redor. No projeto do robô ELIR, o sistema de percepção engloba a aquisição e a interpretação dos dados de todos os sensores envolvidos. Para facilitar a comunicação entre os sistemas - atuação e percepção foi escolhido o *framework* de robótica ROS como ambiente de trabalho do projeto.

Segundo a [ROSWiki \(2018\)](#), o ROS é um ambiente flexível para desenvolvimento de *software* para robótica. O *framework* possui uma coleção de ferramentas, bibliotecas e convenções que simplificam tarefas de criação de comportamentos complexos para robôs. A escolha foi feita com base em suas funcionalidades, pois usando o ROS é possível ter uma arquitetura de processamento de dados quase em paralelo.

[Alvaro \(2018\)](#) diz que o ROS é composto por um conjunto de atributos, porém os que têm uma importância mais relevante em um aprendizado rápido de como utilizar a plataforma, são os nós ou *Nodes* e os pacotes ou *Packages*. Os nós são estruturas que possuem funções e métodos que executam tarefas específicas. Eles compõem uma

estrutura maior que são os pacotes, este pode ser visto como uma funcionalidade completa ou como um conjunto de módulos que formam um sistema.

Cada nó pode se comunicar com outro de duas maneiras: através de um tópico ou de um serviço.

Um tópico é basicamente um canal, como um espaço de memória, no qual os nós trocam mensagens. Tais mensagens são trocadas de forma anônima, ou seja, em geral os nós não sabem com quem estão se comunicando. Os dados podem ser enviados e lidos de um tópico através de uma publicação e uma subscrição respectivamente.

A estrutura de tópicos é bastante flexível em questões de comunicação, porém uma comunicação de muitos-para-muitos não é adequada para mensagens de requisição. Com base nisso, os serviços foram criados como um par de mensagem que possui uma requisição e uma resposta. Geralmente são usados para solicitação de dados específicos ou em funcionalidades de emergência. Na figura 2.1, pode-se observar um esquemático representando a estrutura básica do ROS.

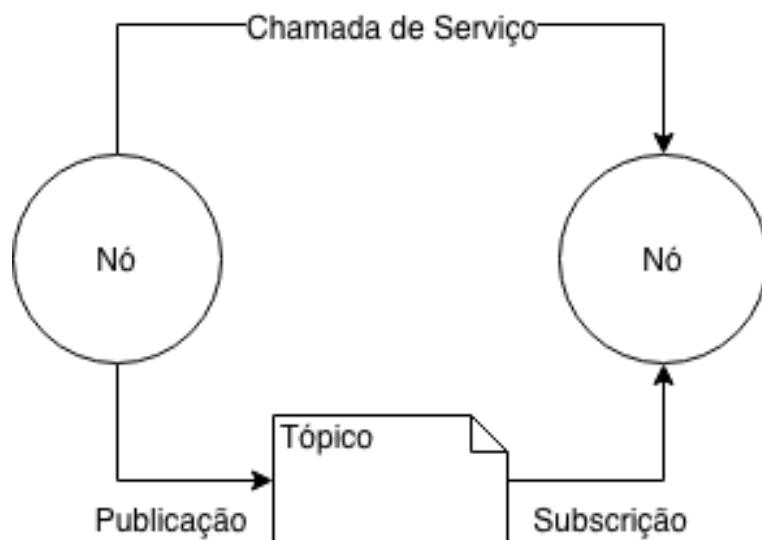


Figura 2.1: Estrutura básica do ROS

Fonte: os autores.

O sistema foi projetado de forma a possuir três subsistemas principais: aquisição, localização e detecção, com objetivo de cumprir os requisitos impostos pelo cliente.

2.1 Especificação técnica do sistema de Percepção

O desenvolvimento do conceito do sistema de Percepção teve como base os requisitos do cliente. A partir destas informações são definidas as especificações técnicas do projeto

que servem para nortear a construção do conceito do sistema e planejar as etapas do desenvolvimento do mesmo em acordo com as necessidades do cliente e limitações da equipe de projeto. As especificações técnicas do sistema de Percepção estão mostradas abaixo:

- O sistema foi projetado para trabalhar com alimentação de 14V proveniente de baterias LiPo.
- A máxima temperatura de trabalho na *housing* é de 50 graus Celsius.
- O sistema consegue detectar objetos através do sonar em uma faixa de servidão de 6.45 metros.
- A obtenção de *frames* da câmera IR acontece na taxa de 1 frame a cada dois segundos.
- Em condições de sobretemperatura ou sobrecorrente o sistema alertará o operador.
- O sistema não é protegido contra ingresso de água

2.2 Arquitetura geral do sistema de Percepção

Para implementar um planejamento no desenvolvimento do sistema, foi elaborado um esquemático representando o projeto conceitual da arquitetura geral do sistema, mostrado na Fig. 2.2. Nela estão representados as três etapas principais: *Sensing*, *Interface* e *ROS Environment*.

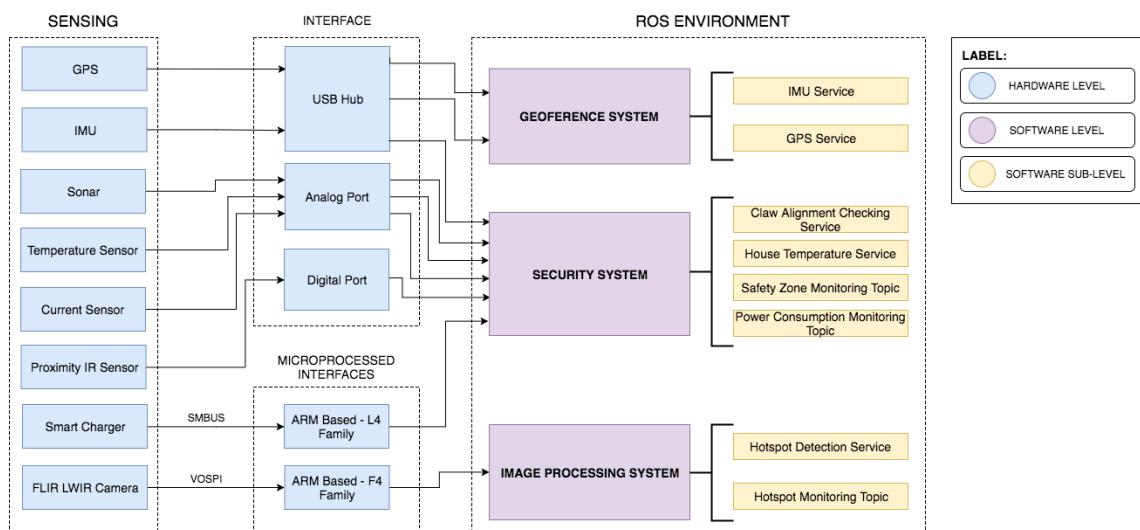


Figura 2.2: Arquitetura Geral da Perception

Fonte: os autores

A etapa de *Sensing* é uma camada de *hardware* composta por todos os processos de aquisição de dados de todos os sensores envolvidos no projeto. É nela em que todas as variáveis do ambiente que o sistema solicita são coletadas.

Os sensores GPS e IMU são responsáveis por coletar os dados de georreferenciamento e de inclinação do robô. O primeiro será usado para informar ao final da missão as coordenadas em que foi detectado um ponto quente na linha de transmissão. O segundo é utilizado para verificar se o robô está com alguma inclinação no cabo para dar inicio a algum movimento.

O sonar e a câmera térmica fazem parte do subsistema de detecção de objetos dentro da linha de servidão e de pontos quentes respectivamente. A partir da detecção de algum desses eventos, será armazenado a localização e a imagem do local onde ocorreu.

Os sensores de proximidade IR verificam se as garras do robô estão alinhadas com o cabo antes de realizar alguma atuação. As garras estão representadas pelo número 4 no primeiro esquemático mecânico do Apêndice [B](#).

O *Smart Charger* e os sensores de corrente são responsáveis por adquirir os dados de consumo do robô. Com o *Smart Charger* é possível adquirir dados de temperatura, corrente, tensão e capacidade das baterias. O sensores de corrente coletam informação de cada conjunto de motor, como pode ser visto no esquemático eletrônico no Apêndice [C](#).

E por final, tem-se o sensor de temperatura que monitora se há aquecimento dentro da casa de eletrônicos do robô.

A etapa *Interface* é composta por camadas de *hardware* e *firmware*, que são responsáveis por transmitir os dados coletados dos sensores para o ambiente de trabalho ROS.

Nela, tem-se três interfaces de comunicação:

- a *Phidgets*, representada por "Interface" na Figura [2.2](#). Responsável por coletar os dados dos sensores digitais, analógicos e USB.
- um microcontrolador STM32F401RE, para adquirir os dados da câmera térmica via protocolo VoSPI.
- um microcontrolador STM32L432KC, para adquirir os dados do *Smart Charger* via protocolo SMBus.

Por último, tem-se a camada de *software*, a qual será feita no ambiente ROS, e

que engloba todo o sistema de compreensão e interpretação dos dados provenientes do sistema de interfaceamento do robô. Nela também está contida uma interface gráfica para interação com o usuário, que serve como supervisório para os dados mais importantes do robô. O *layout* conceitual da UI pode ser vista no Apêndice D.

As funcionalidades do sistema de percepção serão melhor abordadas na seção 3.

2.3 Arquitetura de software do sistema de Percepção

A arquitetura de software foi projetada em três camadas para planejar o desenvolvimento do sistema e simplificar o entendimento do mesmo. As camadas são:

- *User Interface Layer*
- *Business Layer*
- *Driver Layer*

As camadas e seus componentes podem ser vistos na Fig.2.3.

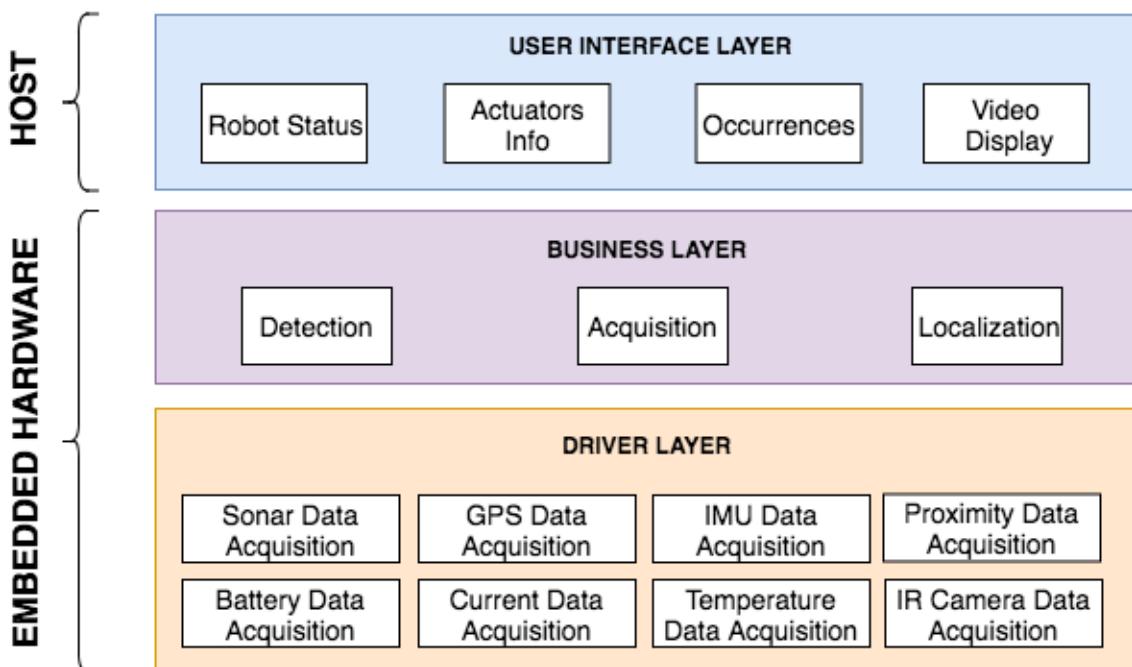


Figura 2.3: Arquitetura Geral da Perception

Fonte: os autores.

2.3.1 Driver Layer

A camada de *Driver Layer* está diretamente relacionada a funcionalidade de aquisição de dados. Ela composta pelo *hardware*, representado pelos sensores e seus respectivos drivers de comunicação. Desta forma, as camadas são divididas em processos de aquisição de dados de cada sensor envolvido no projeto.

Os processos *Current Data Acquisition*, *Temperatura Data Acquisition*, *Proximity Data Acquisition* e *Sonar Data Acquisition* são responsáveis por adquirir as informações analógicas de seus sensores e transformá-los em dados da grandeza física a ser medida. Todas estes processos utilizam a placa de interfaceamento Phidgets para estabelecer a comunicação entre o computador (NUC) e os sensores.

Os processos *IMU Data Acquisition* e *GPS Data Acquisition* são responsáveis pelo recebimento de dados da IMU e do GPS seguindo o protocolo de comunicação do fabricante. Esses dois módulos estão conectados ao *hub* USB da placa de interfaceamento Phidgets.

O processo de *IR Camera Data Acquisition* é responsável pela aquisição de dados da câmera térmica, a qual se comunica via VoSPI com um microcontrolador de arquitetura ARM (STM32F401RE) e converte os dados para USB e os envia à NUC.

Por último, o processo de *Battery Data Acquisition* é responsável pelo estabelecimento da comunicação e coleta de informações com o *Smart Charger* de bateria utilizando protocolo SMBus.

As conexões e diagramas elétricos podem ser vistos no apêndice [C](#).

2.3.2 Business Layer

A camada *business layer* é responsável por implementar a regra de negócio do sistema. As funcionalidades do sistema são representadas como sub-camadas da business layer, pois são elas responsáveis pelo processamento e coordenação dos dados adquiridos pela camada de aquisição.

2.3.3 User Interface Layer

A camada de *User Interface* foi projetada para disponibilizar os dados para o operador. Nela será mostrado de forma resumida os dados mais relevantes do robô e da operação. Nesta camada existem três subcamadas: *Robot Status Display*, *Actuators Display* e *Video Display*.

A subcamada *Robot Status Display* disponibiliza os dados de integridade do robô como temperatura, corrente, tensão, nível de bateria, entre outras informações. A subcamada de *Actuators Display* disponibiliza o dados de todos os motores do robô, como carga, temperatura, status e corrente. Por último, a subcamada de *Video Display* mostra em tempo real o monitoramento realizado pela câmera térmica, possibilitando o usuário ver os componentes da linha que estão com temperatura elevada e até mesmo identificar pontos quentes.

A interface irá se resumir em duas telas: A tela principal com um layout de *dashboard*, e outra que terá as informações dos atuadores. O *dashboard* será um painel de monitoramento, no qual haverá as informações mais importantes da missão, como pode ser visto na apêndice D.1. Essa tela irá mostrar as informações de integridade do robô, ocorrências e a imagem térmica. A tela dos atuadores irá mostrar de forma organizada, as informações já mencionadas, além da corrente total de cada *hub* de motores. Pode-se observar a tela de atuadores na Figura 4.6 no apêndice D.

2.4 Desenvolvimento do Projeto

Tomando como embasamento a arquitetura geral do sistema e a arquitetura de *software*, que representam o conceito do projeto, pode-se dar início ao desenvolvimento em si. A metodologia empregada para o planejamento das atividades e suas execuções estão mostradas em detalhes no Capítulo 3.

Materiais e Métodos

A metodologia empregada para gerenciamento e execução do projeto ELIR é a mesma empregada na área de Robótica da Instituição. O projeto foi dividido em três fases principais:

- *Conceitual e Design*
- *Development*
- *Tests*

Na etapa de *Conceitual e Design* foram definidos os sensores a serem utilizados no projeto, o modelo esquemático de alimentação e comunicação bem como toda análise de funcionalidades e arquiteturas do robô. Esta é a etapa de criação de conceito tecnológico e o sucesso das demais etapas estão diretamente relacionadas ao sucesso desta.

Na etapa de *Development* as funcionalidades foram implementadas em código e todas as interfaces de alimentação e comunicação foram validadas. Esta fase é marcada pela implementação dos protocolos de comunicação, integração dos sensores com o *framework* de robótica e desenvolvimento da interface gráfica.

Já na etapa *Tests* foram realizados os testes unitários e integrados do sistema de percepção do robô comprovando o seu funcionamento.

3.1 *Lista de componentes*

No sistema de Percepção os sensores atuam como os sentidos do robô, recebendo dados externos e informando a unidade central de processamento os seus significados. Quanto maior o número de grandezas físicas analisadas, mais complexo o sistema de Percepção e maior a sua capacidade de compreensão.

Os sensores que compõem o sistema de Percepção do robô ELIR foram escolhidos com base nas necessidades de cada funcionalidade do sistema e disponibilidade do componente na própria instituição. A lista de componentes utilizada está mostrada na Figura 3.1.

Item	Description	Manufacturer	Part Number	power/current	connection	unit cost [R\$]	quantity	total cost [R\$]
01	interface board	Phidgets	1019_1B	500mA (max)	USB	R\$ 272,00	1	R\$ 272,00
02	proximity sensor	ETT CO. Ltd	E18-D80NK npn	<25mA	Digital Output	R\$ 29,00	5	R\$ 145,00
03	temperature sensor	Texas Instruments	LM35	10mA	Analog Output	R\$ 7,38	1	R\$ 7,38
04	gps	Swift Navigation	Piksi 2.3.1	5V, 500mW	USB	R\$ 3.398,00	1	R\$ 3.398,00
05	imu	XSENS	Mti-1	44mW	USB	R\$ 1.597,50	1	R\$ 1.597,50
06	ultrasonic sensor	Maxbotix	EZ-1	5V, 2mA	Analog Output	R\$ 107,82	1	R\$ 107,82
08	lwir camera	FLIR	Lepton 1.0	140mW	I2C	R\$ 812,50	1	R\$ 812,50
09	bridge board I	STMicroelectronics	STM32F401 RE	160mA/0.64W	USB	R\$ 49,79	1	R\$ 49,79
10	bridge board II	STMicroelectronics	STM32L432KC	140mA/0.56W	USB	R\$ 39,56	1	R\$ 39,56
11	battery	Inspired Energy	NH2054HD34	89Wh/6,2Ah	SMBus	R\$ 879,98	2	R\$ 1.759,97
12	power management board	SENAI CIMATEC	-	-	USB	R\$ 2.200,00	1	R\$ 2.200,00
13	smart charger for battery	Inspired Energy	EB325A	15mA/0.36W	SMBus	R\$ 1.296,00	1	R\$ 1.296,00
14	central processing	Intel	NUC515RYK	15W/12V	USB	R\$ 4.300,00	1	R\$ 4.300,00
15	cabo usb	-	-	-	USB	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
							Total:	R\$ 15.985,52

Figura 3.1: Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR

Fonte: Própria

3.2 Diagramas mecânicos do sistema de Percepção

O sistema de Percepção em robôs muitas vezes é entendida como uma implementação em código das funcionalidades do sistema, desconsiderando o aporte mecânico envolvido. Contudo, o suporte mecânico para os sensores é um grande desafio a ser solucionado.

Neste projeto, houve a necessidade de suportes mecânicos por conta da limitação de espaço além de haver uma restrição imposta pelo cliente na modificação estrutural no protótipo. A descrição dos suportes mecânicos desenvolvidos para confrontar esse problema esta mostrada na próxima sessão.

3.2.1 Suporte dos sensores

Para fixar todos os sensores e componentes eletrônicos de maneira organizada foi desenhada uma estrutura em forma de prateleira na qual é possível anexar a grande parte dos sensores do sistema de Percepção.

A primeira prateleira comporta os sensores do sistema de georreferenciamento que são o GPS e a IMU. A prateleira central foi projetada para a placa de interface Nucleo F401RE que recebe os dados da câmera IR. Por último, na terceira prateleira fica a placa de interface Phidgets para reunir os dados dos diferentes componentes e enviar para a NUC que é a unidade de processamento central do robô.

As peças foram fabricadas utilizando impressão 3D e o seu desenho pode ser visto nas Figura 3.2 e 3.3 .

A parte de gerenciamento enérgico do robô foi alocada em uma estrutura na parte

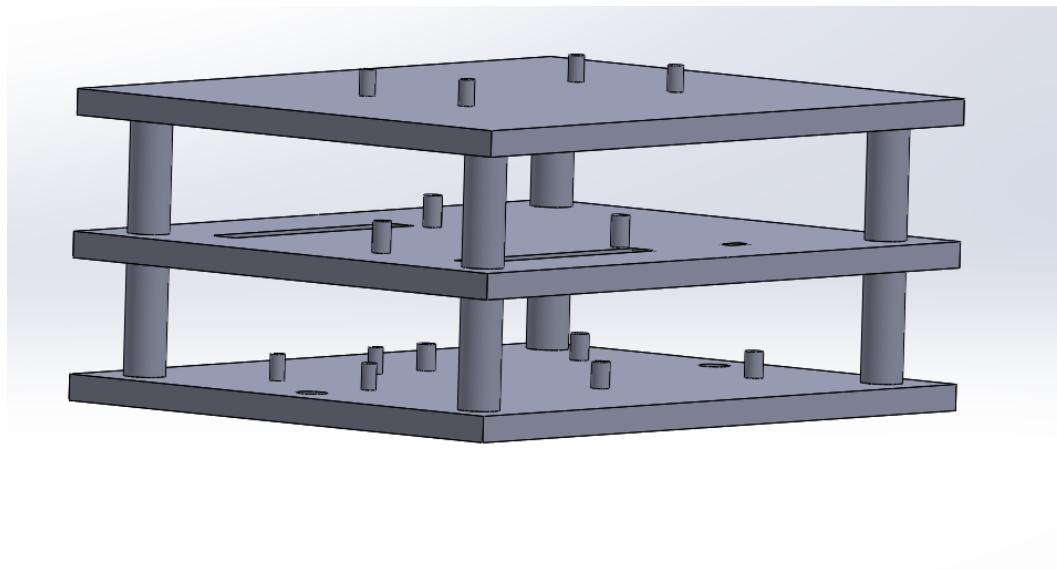


Figura 3.2: Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos

inferior do mesmo. Esta estrutura foi projetada para comportar as baterias, a *Smart Charger*, a *Power Management* e a placa de interface Nucleo L432. O desenho dessa estrutura está mostrado na figura 3.4.

3.3 **Modelo esquemático de alimentação e comunicação**

A alimentação do sistema é proveniente de duas baterias LiPo que fornecem tensão de alimentação em 14V. Todo o gerenciamento de energia do sistema é feita pela *Power Management Board*, esta placa é responsável por distribuir a alimentação de entrada para os demais subsistemas da Percepção.

A placa de interface Phidgets além de funcionar como *hub* para uma grande parte dos sensores também é responsável por compatibilizar o nível de tensão para os componentes eletrônicos, fornecendo 5V para as placas microprocessadas, sensores e a alimentação de todas as portas USBs.

A comunicação entre os sistemas da Percepção ocorrem na maior parte através da Phidgets, já que esta placa de interface concentra as informações oriundas de suas portas USB, entrada digitais e entradas analógicas em uma única porta USB para a unidade central de processamento.

A câmera térmica e a os dynamixels possuem portas exclusivas de comunicação com a unidade central devido seu grau de criticidade.

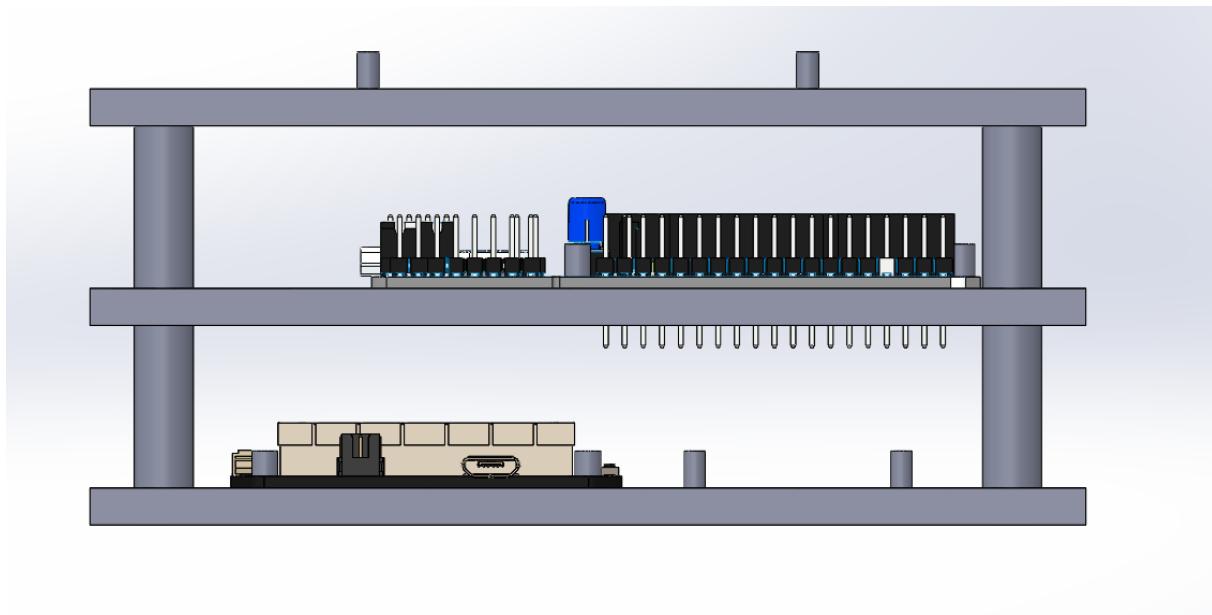


Figura 3.3: Prateleira para suporte com sensores

3.3.1 Diagramas elétricos e eletrônicos

O diagrama elétrico do sistema está disponível no apêndice C. Neste diagrama encontram-se todas as conexões elétricas e de comunicação bem como as especificações de conectores e cabos utilizados no projeto.

O esquemático eletrônico realizado pela equipe foi uma placa hub de 5V para alimentação dos sensores de proximidade, visto que a Phidgets possui apenas umas saída de tensão em 5V disponibilizada.

Nesta placa foram colocados os *pin headers* para cada sensor de proximidade, fornecendo alimentação e disponibilizando os pinos digitais dos sensores em um conector Molex.

O esquemático eletrônico e *board* estão mostrados no anexo C.

3.4 Especificação das funcionalidades

As funcionalidades de um robô descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. No ELIR, o sistema de Percepção possui três funcionalidades principais: Aquisição, Localização e Detecção. A descrição de cada funcionalidade e seu diagrama de funcionamento estão mostrados nos subtópicos a seguir.

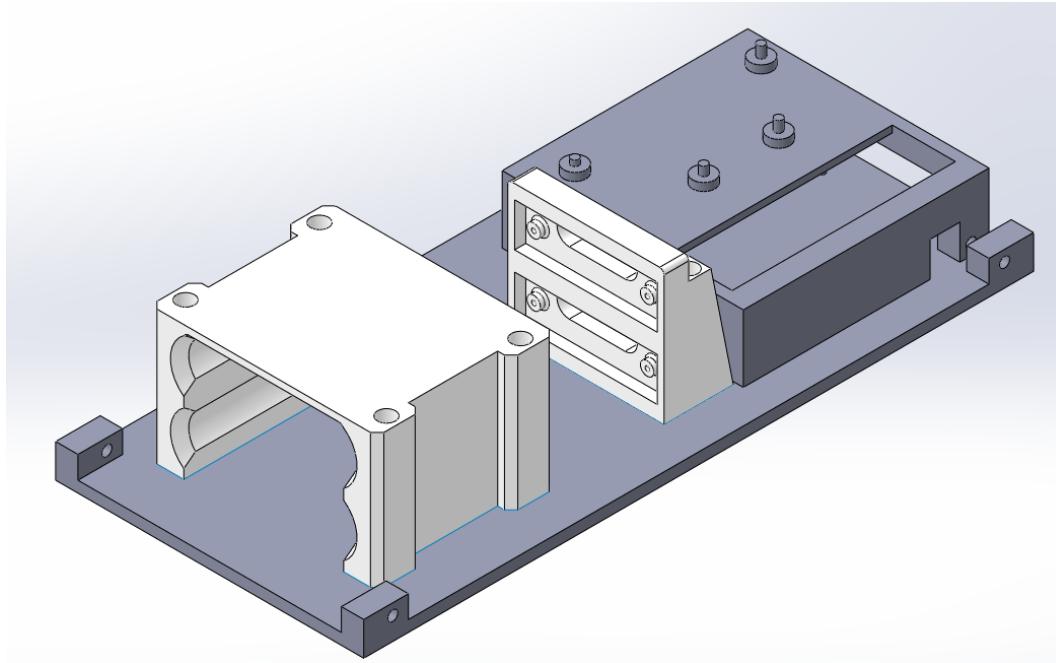


Figura 3.4: Prateleira para suporte dos componentes de alimentação

3.4.1 Aquisição

O processo de aquisição de dados envolve a comunicação dos sensores com seus respectivos drivers no ambiente ROS e a disponibilização dos dados para as outras funcionalidades do sistema.

Os sensores analógicos e digitais terão seus dados tratados pelo driver da interface Phidgets no ambiente ROS. Para os dispositivos relacionados a localização como o GPS e a IMU, serão utilizados drivers já disponibilizados pelos fabricantes.

No caso dos componentes que trabalham com os protocolos de comunicação SPI ou I2C, como é o caso da câmera térmica e da *Smart Charger*, serão utilizadas duas interfaces baseadas em ARM com um *firmware* embarcado para a conversão dos dados para o protocolo UART.

A interface microprocessada utilizada para obter dados da câmera térmica possui uma porta USB dedicada na unidade de processamento Intel NUC. Já a outra interface microprocessada para a *Smart Charger* será conectada a uma porta USB da Phidgets.

No ambiente ROS do projeto há um *package* exclusivo para receber os dados convertidos da câmera térmica, um *package* para receber dados de todos os sensores conectados a Phidgets, um *package* para recebimento de dados da *Smart Charger* e por último um *package* exclusivo para interface gráfica. Pode-se observar o fluxograma da aquisição na Figura 3.6

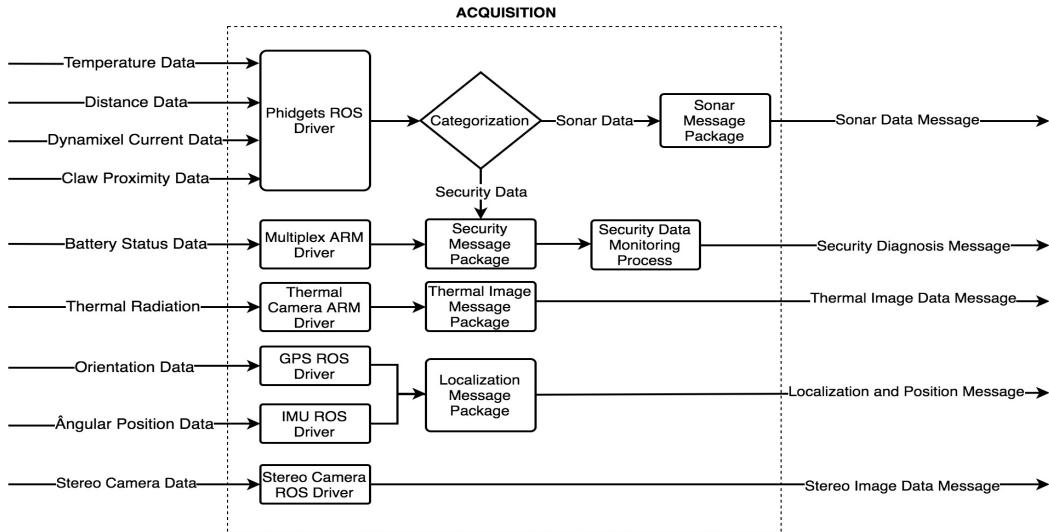


Figura 3.5: Fluxograma da Funcionalidade Aquisição

Para correta execução desta funcionalidade é necessário o funcionamento dos sensores segundo o nível de prioridade dos mesmos. Logo, um estudo de casos de falhas para cada sensor foi realizado, no qual foi definido um nível de criticidade de acordo com o impacto de sua função no sistema como um todo. Foram elaborados três níveis de criticidade:

- Level 1 - Sensores com impacto crítico na operação. Em casos de falha, a inspeção não poderá ser realizada.
- Level 2 - Sensores com impacto médio na operação. Em caso de falha, a inspeção poderá ser realizada de forma parcial.
- Level 3 - Sensores com impacto leve na operação. Em caso de falha, não haverá dados de monitoramento da situação de temperatura e consumo energético do robô, porém a inspeção poderá continuar normalmente.

Na figura abaixo, pode-se observar os sensores e suas categorias.

3.4.1.1 Objetivo

Realizar a comunicação e a aquisição dos dados provenientes da câmera térmica, sensores de proximidade, sonar, GPS, IMU, sensor de temperatura, *Smart Charger* e sensores de corrente.

Grau de Criticidade dos Sensores	
Level 1	<ul style="list-style-type: none"> • FLIR LWIR Thermal Camera • Claw proximity sensors
Level 2	<ul style="list-style-type: none"> • EZ-1 Sonar • GPS • IMU
Level 3	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature Sensor - LM35 • Multiplex Board • Current Sensors

Figura 3.6: Nível de criticidade dos sensores

3.4.1.2 Dependências

Esta funcionalidade não é dependente de nenhum outro processo.

3.4.1.3 Premissas

- A interface microcontrolada Nucleo STM32F401RE deve estar com firmware embarcado para conversão de dados SPI para UART.
- A câmera térmica deverá estar conectada à interface Nucleo STM32F401RE
- A câmera stereo deve estar conectada à NUC através da porta USB
- Os sensores de temperatura, corrente e sonar devem estar conectados as entradas analógicas da interface Phidgets
- Os sensores de proximidade devem estar conectados as entradas digitais da placa de interface Phidgets
- O GPS e a IMU devem estar conectados a portas USB da Phidgets
- As placas de interface devem estar energizadas.

3.4.1.4 Saídas

Esta funcionalidade possui quatro saídas:

- *Sonar Data Message*: Mensagem de saída exclusiva para os dados do sonar EZ-1.
- *Secutiry Diagnose Message*: Mensagem contendo todos os dados relacionados à segurança e integridade do robô.
- *Thermal Image Data Message*: Mensagem exclusiva para os dados da câmera térmica.
- *Localization and Position Message*: Mensagem contendo os dados relacionados á localização e posicionamento angular do robô.

3.4.2 Localização

O sistema de localização envolve o monitoramento da posição latitudinal e longitudinal do robô, assim como a posição angular através do GPS e da IMU respectivamente.

A localização é um package que ao receber uma requisição de informação, coleta os dados de posicionamento e orientação do robô provenientes do sistema de Aquisição e encaminha para o sistema que requisitou.

O fluxograma deste funcionalidade pode ser visto na Figura 3.7

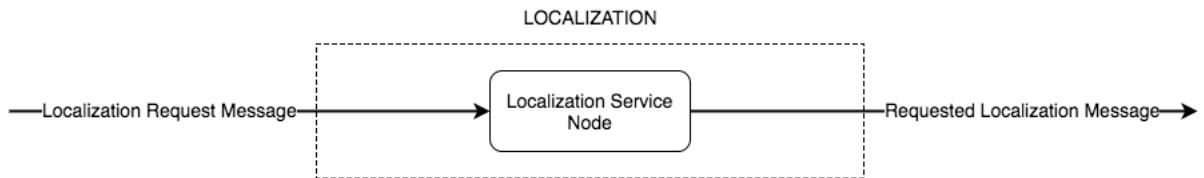


Figura 3.7: Fluxograma da Funcionalidade Localização

3.4.2.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é disponibilizar os dados de Localização do robô no ambiente ROS para a funcionalidade de Detecção.

3.4.2.2 Dependências

O sistema de localização depende dos dados de posicionamento e orientação disponibilizados pelo sistema de Aquisição.

3.4.2.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.

3.4.2.4 Saídas

- *Requested Localization Message*: Mensagem que informa os dados de localização para o sistema que os requisitou.

3.4.3 Detecção

A detecção é a funcionalidade responsável por identificar a presença de pontos quentes na linha de transmissão bem como de objetos na faixa de servidão. Ao identificar um destes elementos, o sistema solicita da funcionalidade de Localização os dados posicionamento e orientação do robô e envia uma mensagem de alerta.

A mensagem de detecção de um ponto quente informa a localização do robô e a localização do objeto no frame de imagem. Por isso recebe a mensagem de detecção de obstáculos.

A mensagem de detecção de objetos na faixa de servidão informa a distância da cota da linha até o objeto e a localização do mesmo.

3.4.3.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é coletar as informações provenientes da câmera infravermelha e do sonar, como presença de pontos quentes e objetos presentes na área de servidão.

3.4.3.2 Dependências

O sistema de detecção depende dos dados do sonar e dos *frames* da câmera térmica disponibilizados pelo sistema de Aquisição. Além disto, depende do sistema de Localização para adquirir informações de posicionamento e orientação do robô.

3.4.3.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- A câmera térmica deve estar calibrada e posicionada com ângulo de visão para as linhas de transmissão e seus obstáculos
- O sonar deve estar posicionado de forma a monitorar objetos abaixo da linha de transmissão.

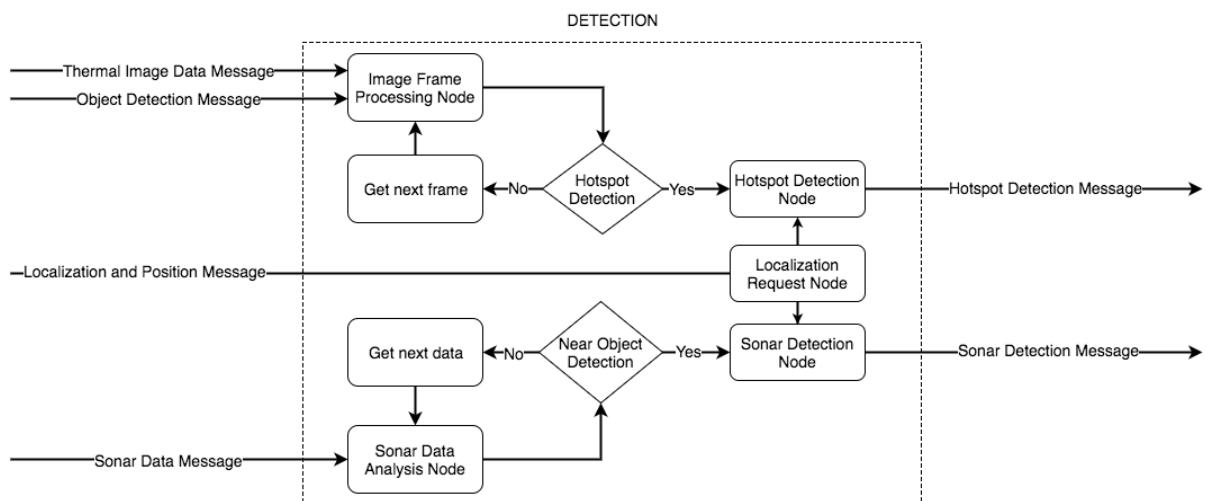


Figura 3.8: Fluxograma da Funcionalidade Detecção

3.4.3.4 Saídas

- *Hotspot Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de um ponto quente e informa a sua localização na imagem e localização do robô na linha.
- *Sonar Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de objetos na faixa de servidão e sua localização na linha.

3.5 Interface do Usuário

A interface do usuário é uma forma de expor graficamente as variáveis mais importantes do sistema robótico e quais atividades estão sendo executadas. Ela permite dar previsibilidade ao usuário do comportamento do sistema.

No ELIR a interface do usuário tem o papel de informar cinco características principais:

- *System Integrity*
- *Robot Status*
- *Thermal view*
- *Occurrences*
- *Actuators Information*

No campo de *System Integrity* são exibidos em tempo real as variáveis de grande impacto na eficiência e integridade do sistema. Por isso são informados os dados de temperatura, percentual de carga da bateria, consumo, localização e orientação do robô.

O *Robot Status Display* exibe o posicionamento das garras do robô na linha de transmissão. A coloração vermelha indica as garras foras da linha enquanto que a coloração verde indica as garras apoiadas na linha. Essa informação proveniente dos sensores de proximidade é de extrema importância para integridade física do robô.

O *Thermal View* exibe em tempo real os frames da câmera IR, permitindo o usuário acompanhar a detecção de pontos quentes e visualizar o perfil de temperatura da área exibida.

O campo de *Occurrences* mostra as principais ocorrências daquele momento, mostrando eventos de sobretemperatura, sobrecorrente, detecção de pontos quentes e detecção de objetos na área de servidão. Todos os eventos são mostrados com data, horário e localização gps.

Resultados

As funcionalidades do sistema de percepção foram validadas a partir de duas etapas de testes. Os testes unitários buscam a validação do funcionamento individual dos sensores, enquanto os testes integrados validam o funcionamento dos sistemas e funcionalidades, ou seja, todos os componentes em conjunto. A descrição dos testes realizados e dos resultados obtidos por eles está descrita abaixo.

Para mais detalhes sobre as conexões eletro-eletrônicas, pode-se ver o apêndice [C](#).

4.1 Testes unitários

4.1.1 Câmera Térmica

A câmera térmica Lepton, do fabricante FLIR, se comunica por VOSPI. Logo, foi necessário utilizar um driver para converter os dados da câmera e disponibiliza-los para a USB. Uma placa de desenvolvimento Nucleo STM32F401RE com o driver disponibilizado por [Gyver et al. \(2017\)](#) foi utilizada para essa situação.

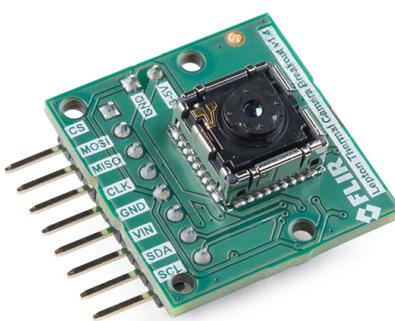


Figura 4.1: Lepton LWIR

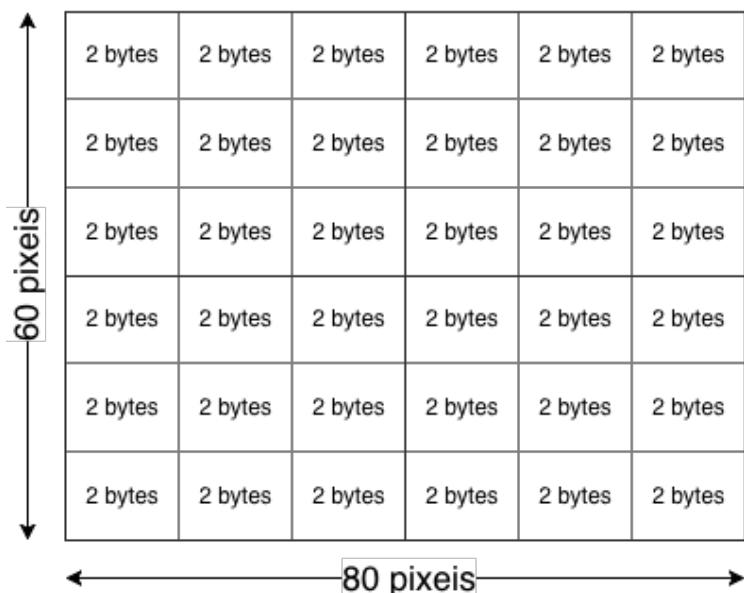
O driver coleta os frames e verifica se o mesmo foi adquirido corretamente, após isso, envia para a USB seguindo o seguinte padrão de mensagem:

No início de cada mensagem, há uma sequência de quatro *bytes* para confirmar a transferência dos dados. Após a confirmação por um *script* em python, inicia-se o



Figura 4.2: Mensagem do frame da câmera

processo de aquisição do *frame*. Cada *frame* é composto por 4800 *pixels*, sendo 80 na horizontal e 60 na vertical. Além disso, cada *pixel* possui 2 *bytes* de profundidade de cor, correspondendo a 9600 *bytes* de informação para cada *frame*. Na Figura 4.3, pode-se observar uma representação do *frame* da câmera.

Figura 4.3: Esquemático do *Frame* da Câmera Térmica

No *script* de aquisição de *frames*, cada *pixel*, foi convertido para uma escala de cinza de 8-bits (1 *byte*). Conversão necessária para trabalhar com a biblioteca de processamento de imagens OpenCV.

Após isso a imagem foi reconstruída para verificar a integridade dos *frames*.

4.1.2 Sonar EZ-1

O sonar EZ-1 da MaxBotix possui saída analógica referente a distância medida. Para testá-lo, foi utilizada uma das entradas analógicas da Phidgets.



Figura 4.4: Sonar EZ-1

A comunicação da Phidgets com a NUC é feita via USB, contudo, é necessário a instalação dos drivers obrigatórios da placa no linux. Além disso, é necessário a instalação do módulo python respectivo da placa, dessa forma, permitindo a utilização de classes e métodos para controle da comunicação com os sensores.

Com os respectivos drivers e módulos da phidgets instalados no computador, foi necessário apenas conectar os terminais alimentação e saída analógica do sensor nos conectores correspondentes da Phidgets e executar um *script* de leitura da tensão nas entradas analógicas fornecido pela própria fabricante.

Ao executar o código, recebe-se, no intervalo de dez segundos, todas as leituras de tensão efetuadas no sensor. Notamos que ao afastar o obstáculo do sonar o valor de tensão aumentava e quando aproximavamo o obstáculo o valor de tensão diminuía. Após feita a conversão de tensão para unidades métricas através das informações disponibilizadas no *datasheet*, foi possível validar o sensor.

4.1.3 Sensor de Proximidade

O sensor de proximidade E18-D80NK funciona de maneira bastante simples. O módulo possui um emissor e um receptor de feixes infra-vermelhos, o qual identifica se há ou não um objeto próximo devido a reflexão, liberando assim, um sinal de nível alto caso positivo e nível baixo caso negativo.

Por questão de sinalização, o fabricante adicionou um LED, que ao identificar algum objeto próximo, acende-se. Com isso, logo após alimentar o sensor já era possível ver o



Figura 4.5: Sensor de proximidade E18-D80NK

seu funcionamento. Entretanto, ainda era necessário verificar se a saída digital referente a detecção estava em devido funcionamento.

Para isso, foi utilizada a placa de interfaceamento Phidgets assim como no tópico anterior. O que diferiu nesse teste para o anterior é que o sensor foi acoplado em uma entrada digital, em vez de uma analógica, assim como o *script* executado foi para comunicação com as entradas digitais. O código, também disponibilizado pela fabricante, notifica a mudança de estado da saída dos sensor, dessa maneira podendo ser validada.

4.1.4 Smart Charger

A placa de gerenciamento e carregamento das baterias DS325A, da empresa Inspired Energy, funciona a partir do protocolo de comunicação SMBus. Informações das baterias como temperatura, corrente, carga, entre outras podem ser solicitadas através do seguinte protocolo de leitura.

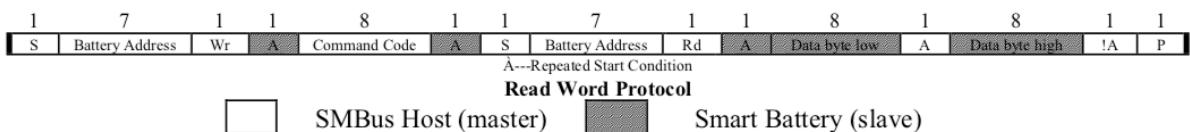


Figura 4.6: Protocolo de comunicação do *Smart Charger* e das baterias

No qual é necessário enviar primeiro o endereço de 7 bits da bateria de interesse, seguido do comando referente a que informação está se requisitando. Após isso, inicia-se o processo de leitura das informações da bateria.

O driver de comunicação foi desenvolvido em uma placa de desenvolvimento Nucleo STM3L432KC para disponibiliza-los na USB do computador. Além disso, um *script* em python foi escrito para requisitar essas informações do microcontrolador.

Os dados foram convertidos para suas respectivas grandezas, dessa maneira, foi possível validar as informações obtidas.

4.1.5 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 possui uma saída analógica e com comportamento linear entre a tensão de saída e a temperatura medida.

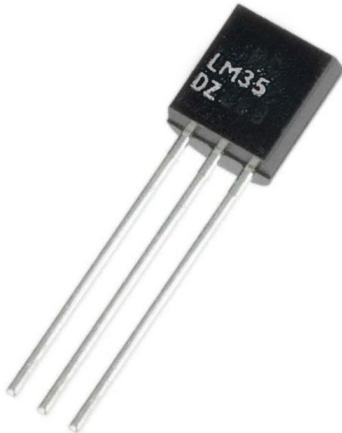


Figura 4.7: Sensor de Temperatura LM35

O componente foi testado em uma das entradas analógicas da Phidgets, e utilizando o mesmo algoritmo de leitura de tensão já mencionado para realizar a obtenção de dados. Para verificar a resposta do sensor, foi medido o valor de tensão de saída para uma sala com ar-condicionado e para um ambiente externo com auxílio de um termômetro de referência.

Os valores de tensão foram convertidos para graus Celsius, através da correlação disponível no *datasheet*, validando assim o sensor.

4.1.6 GPS

O GPS Piksi v2.3.1, da Swift Navigation, possui um console disponibilizado pelo próprio fabricante, porém como se tinha em mãos uma versão antiga do aparelho, foi necessário descobrir qual a versão compatível do *software*.

O console foi instalado, o GPS foi conectado na USB do computador e a antena devidamente acoplada. Essa versão em específico precisa de quatro satélites para realizar os cálculos de coordenadas, e em ambientes fechados, a recepção de sinal é bastante



Figura 4.8: GPS Piksi v2.3.1

degradada. Para contornar essa situação, o dispositivo foi iniciado em modo de simulação em seu console, mostrando assim, os dados de longitude e latitude.

Posteriormente, a antena foi levada a um ambiente externo e verificou o funcionamento do GPS fora do modo de simulação.

4.1.7 IMU

A IMU Mti-1, fabricado pela Xsens, possui um console que é disponibilizado no próprio pendrive de instalação que vem junto ao sensor.

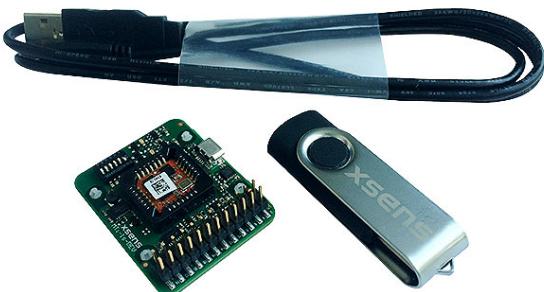


Figura 4.9: IMU Xsens Mti-1

Com o console instalado, foi apenas necessário conectar a IMU a uma das portas USB do computador. Na própria interface gráfica já aparece as informações de orientação do dispositivo, informando a orientação nos três eixos de referência e velocidade angular.

4.2 Integração no ROS

Após os testes unitários de cada sensor, deu-se inicio à integração dos sensores no ambiente ROS para construção do sistema de Percepção. A descrição da metodologia empregada para embarcar cada um dos sensores no framework de robótica está mostrada nos tópicos abaixo.

4.2.1 Phidgets

Após a fase de testes unitários, foi necessário desenvolver o *package* de comunicação da phidgets no ROS. Esse *package* é responsável pela aquisição dos dados de todos os sensores analógicos e digitais conectados a Phidgets.

Os nós foram desenvolvidos utilizando como base o módulo *python* da Phidgets. Ele consiste em uma classe e cada objeto desta, representa um componente conectado a placa de interface. Ao declarar o objeto, se faz necessário informar o canal, o nome do dispositivo, o tipo de porta (digital ou analógico) e o nome do tópico a ser disponibilizado os dados.

No construtor da classe os dados referentes aos dispositivos são coletados e um *publisher* do ROS é inicializado. Este *publisher* faz com que periodicamente os dados de tensão(canais analógicos) ou status da porta(canais digitais) sejam coletados e disponibilizados no tópico escolhido pelo usuário.

No script original foram criados seis objetos da classe no *main loop*, correspondentes aos cinco sensores de proximidade conectados a portas digitais e ao sonar conectado na porta analógica.

4.2.2 Smart Charger

O script utilizado no teste unitário para receber os dados provenientes do *smart charger* no computador foi utilizado como base para a construção do nó no ambiente ROS.

O nó funciona enviando um *byte* pré-definido para dar início ao processo de transmissão de dados da bateria. A recepção do *byte* pela Nucleo L432KC inicia a leitura dos dados da bateria, como mostrado no tópico anterior. Logo após isso, ocorre o envio das informações em sequência para o computador, como pode ser visto abaixo:

W	R	R	R	R
0x30	2 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
Fixed Header	Voltage	Temperature	Current	Capacity

Figura 4.10: Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias

No nó do ROS essas informações são recebidas via serial e convertidas para sua devidas unidades segundo o *datasheet* do fabricante. Esses dados são colocados em um formato de mensagem chamado de Battery e publicadas em um tópico do ROS. O nó criado para a *smart charger* está mostrado no anexo XX.

4.2.3 Câmera Térmica

A integração da câmera no ROS foi feita em duas etapas, que na prática foram representadas como dois nós:

- O primeiro com objetivo da aquisição dos dados da câmera e sua disponibilização em um tópico.
- O segundo nó é responsável por todo o tratamento da imagem e detecção dos pontos quentes.

Para a aquisição dos dados, no primeiro nó, foi utilizado basicamente o mesmo algoritmo que no teste unitário, porém com a integração das bibliotecas do ROS para publicar os *frames* em forma de *Numpy arrays* em seu devido tópico.

No segundo nó foi utilizado a biblioteca OpenCV para realizar o processamento da imagem. Primeiramente, o frame disponibilizado pelo nó de aquisição é adquirido subscrevendo do seu respectivo tópico. Para retirar o aspecto "pixelado" da imagem da câmera, devido a sua baixa resolução (80x60 pixels), foi necessário realizar uma interpolação cúbica para redimensionar a imagem para uma resolução de (400x300 pixels), obtendo assim uma imagem mais detalhada.

Com a imagem já redimensionada, é aplicado um filtro *blur* para eliminar altas frequências que podem interferir na binarização (*thresholding*) que será feita na imagem.

Após o filtro, o frame é binarizado com o objetivo de facilitar a identificação dos pontos quentes através de um algoritmo de busca de contornos.

O esquemático abaixo mostra simplificadamente o processo de tratamento da imagem.

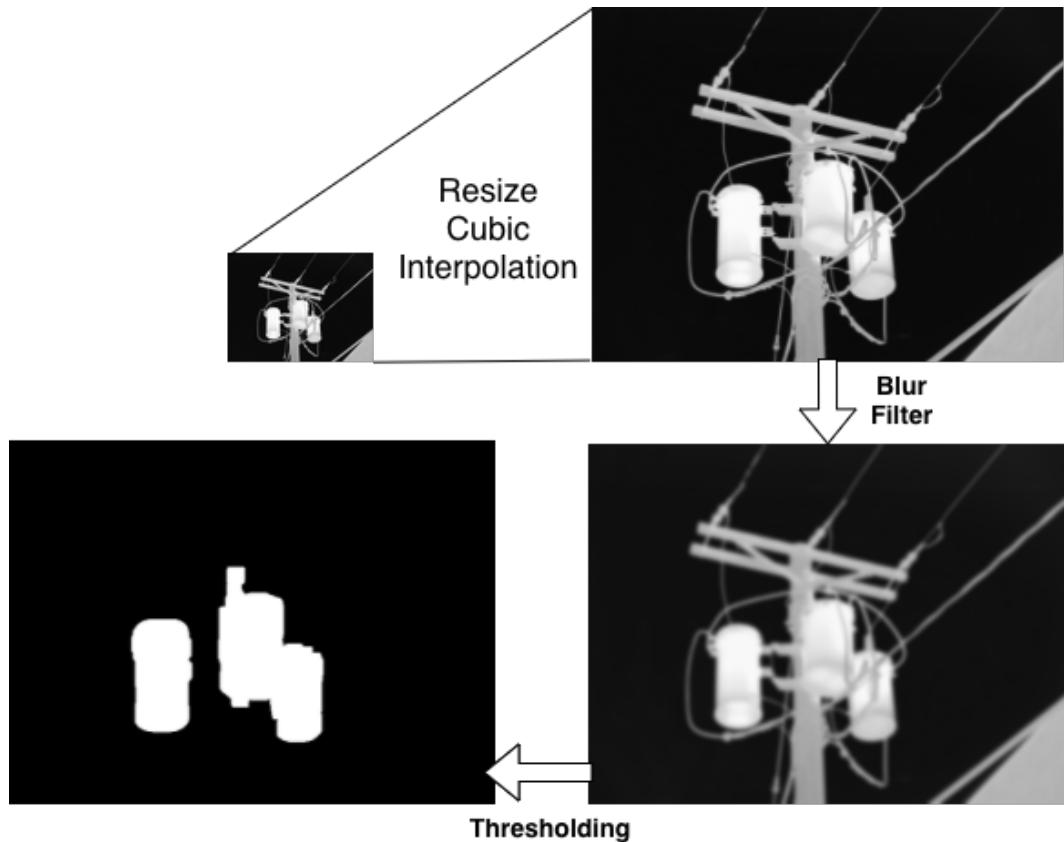


Figura 4.11: Esquemático do processamento da imagem

4.2.4 GPS

Para o GPS, foi utilizado um driver disponibilizado no GitHub por [Tranzatto et al. \(2018\)](#) com licença livre para embarcar o dispositivo no ROS.

O *package* possui nós que publicam em tópicos as informações de coordenadas obtidas do GPS.

4.2.5 IMU

Foi utilizado o driver da IMU disponibilizada pela própria fabricante Xsens para embarcar a IMU no ROS. O driver de licença livre é disponibilizado no GitHub da própria empresa.

4.3 *Testes integrados*

asdfadsfsdfs

4.4 *Trabalhos futuros*

asdfadsfsdfs

Conclusão

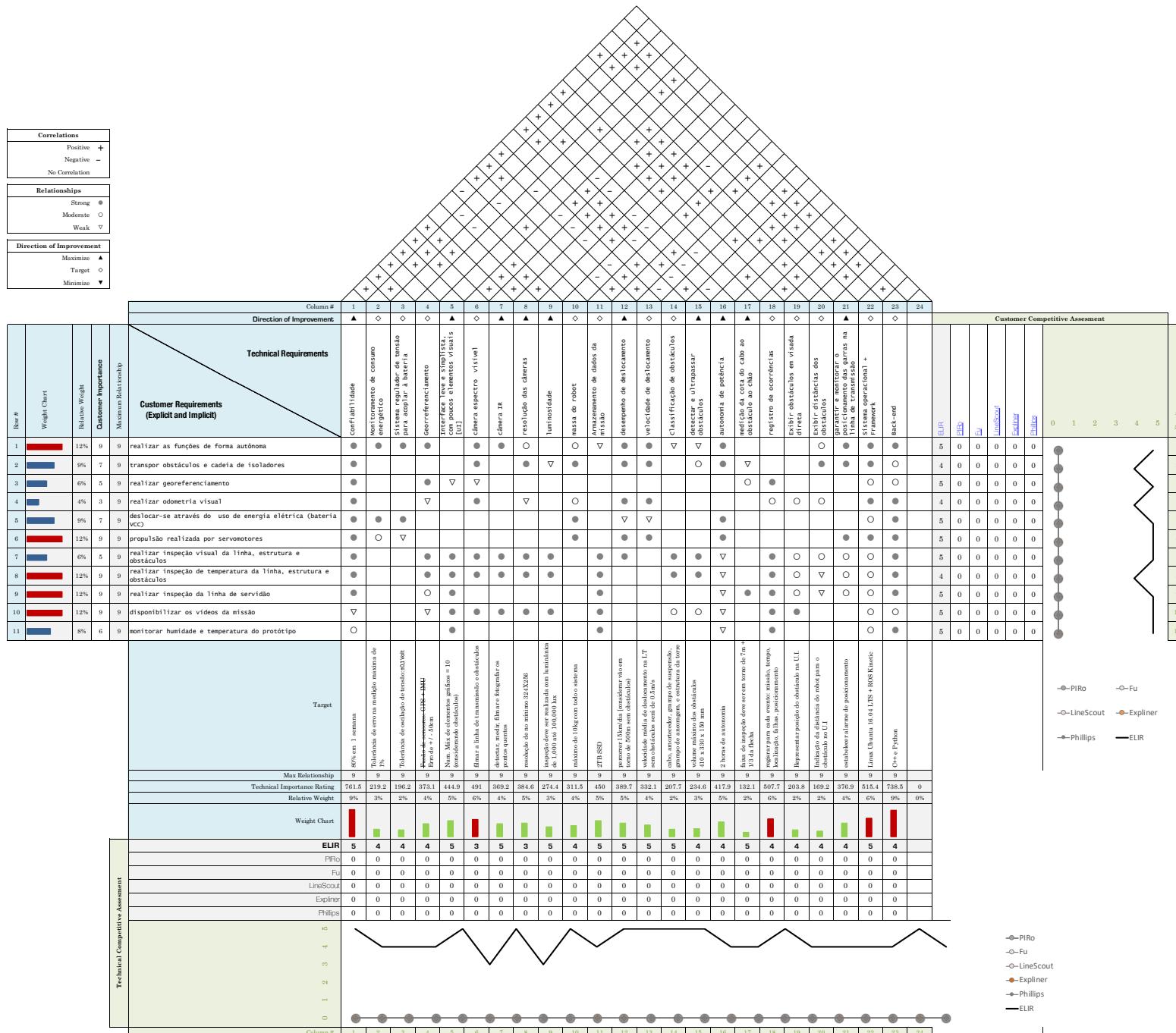
Chegou a hora de apresentar o apanhado geral sobre o trabalho de pesquisa feito, no qual são sintetizadas uma série de reflexões sobre a metodologia usada, sobre os achados e resultados obtidos, sobre a confirmação ou rechaço da hipótese estabelecida e sobre outros aspectos da pesquisa que são importantes para validar o trabalho. Recomenda-se não citar outros autores, pois a conclusão é do pesquisador. Porém, caso necessário, convém citá-lo(s) nesta parte e não na seção seguinte chamada **Conclusões**.

5.1 Considerações finais

Brevemente comentada no texto acima, nesta seção o pesquisador (i.e. autor principal do trabalho científico) deve apresentar sua opinião com respeito à pesquisa e suas implicações. Descrever os impactos (i.e. tecnológicos, sociais, econômicos, culturais, ambientais, políticos, etc.) que a pesquisa causa. Não se recomenda citar outros autores.

Apêndice A

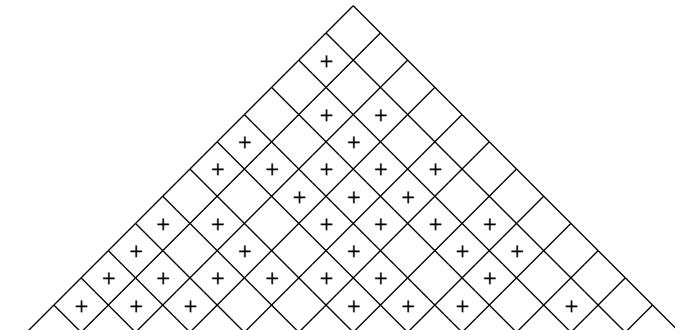
QFD



Correlations	
Positive	+
Negative	-
No Correlation	

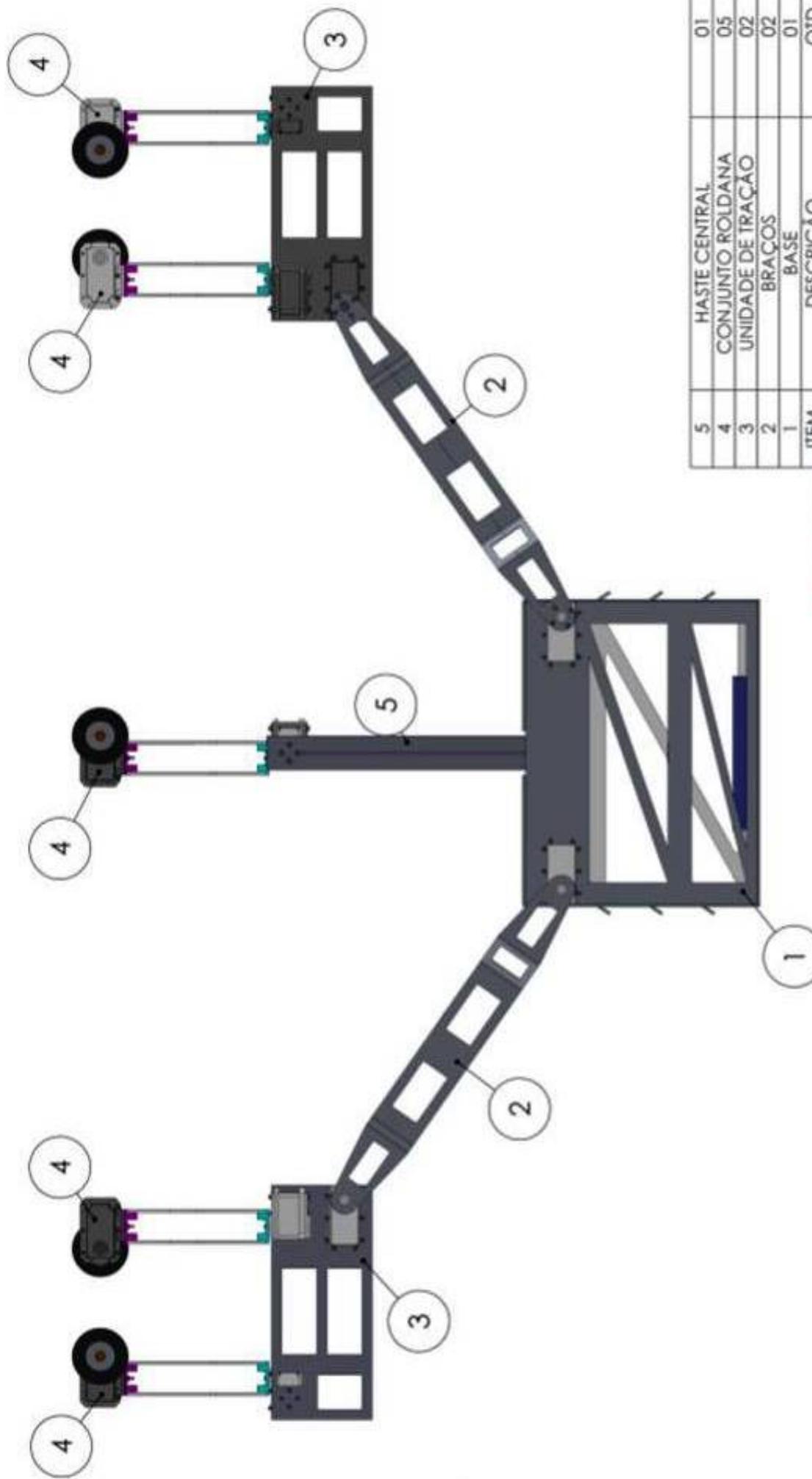
Relationships	
Strong	●
Moderate	○
Weak	▽

Direction of Improvement	
Maximize	▲
Target	◇
Minimize	▼



Diagramas mecânicos

REV	DESCRIPTION	DEAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017



ITEM	DESCRICAO	QTD
5	HASTE CENTRAL	01
4	CONJUNTO ROLDANA	05
3	UNIDADE DE TRACAO	02
2	BRAÇOS	02
1	BASE	01

Pi-Ro 2.1

Pi-Ro 2.1



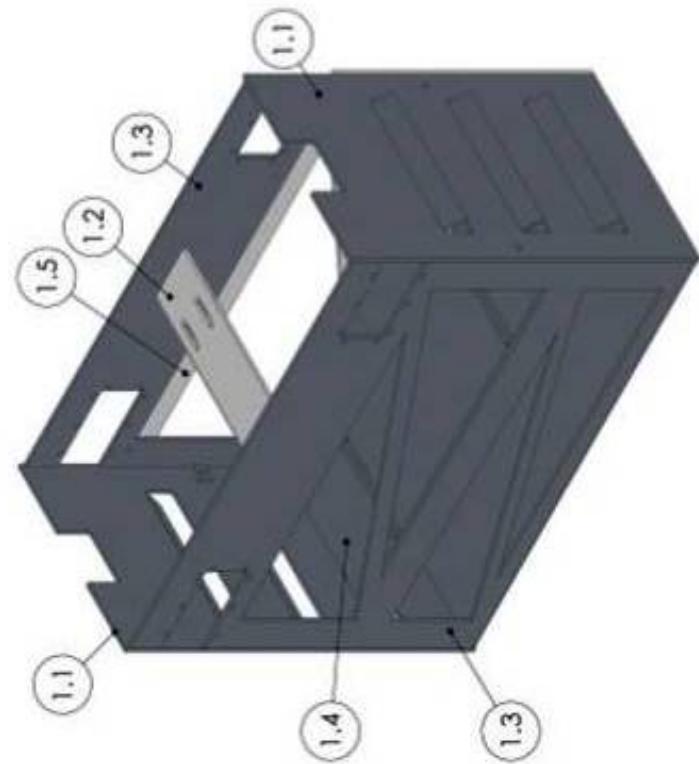
Pi-Ro 2.1
VISTA FRONTAL

Page:	1 of 13
Date:	07/09/2017
Author:	Marco Reis
Reviewer:	Juliana Sartori
Comments:	1. Até finalmente achar 2. Montar e testar 3. Desenhar rodando
Signature:	
Signature:	

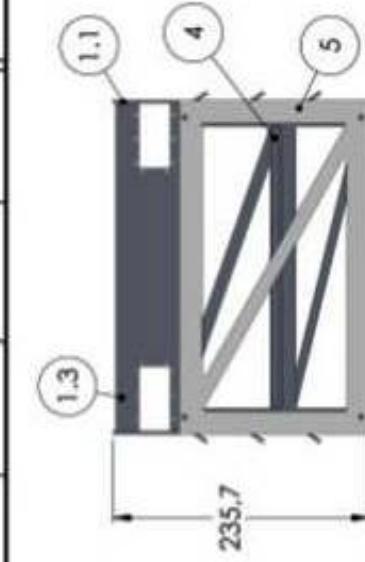
This information is in this document and may not be copied, reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any other form without written consent from the copyright holder.

REV 0
Drawing elaboration Juliana Santori 07/09/2017

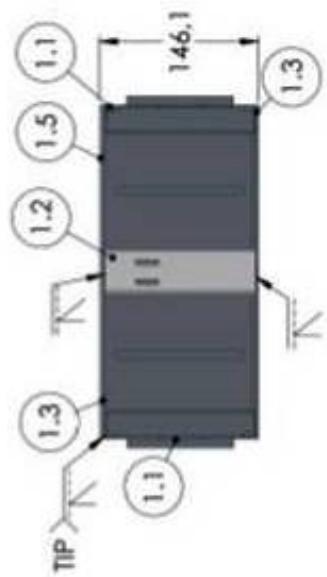
DESCRIPTION DRAW DATE
Juliana Santori 07/09/2017



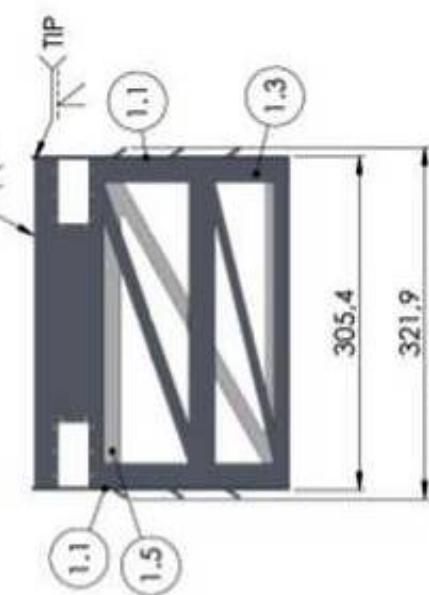
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA TRASEIRA



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

ITEM	QTD	DESCRICAÇÃO	BASE - ITEM 01	12
1.5	01	CHAPA 05: 305,4 x 175 x 2,7 mm	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	
1.4	01	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	
1.3	01	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	
1.2	01	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	02
1.1	01	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	DESCRICAÇÃO	QTD

Draw title: BASE - ITEM 01
Project: PI-Ro 2.1
Date: 07/09/2017
Author: Juliana Santori
Reviewer: Marco Reis
Comments: N/A

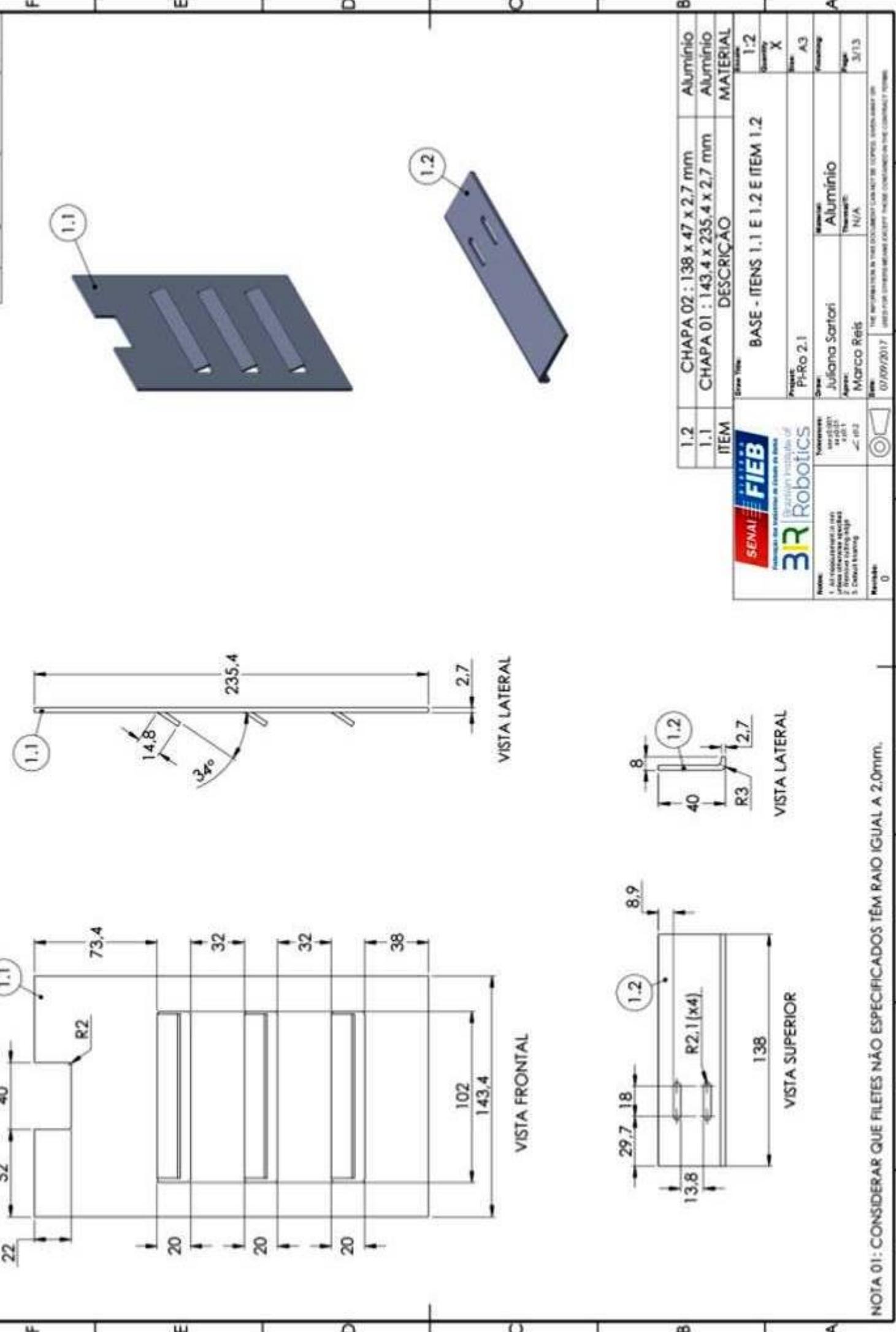
SENAI FIEB Brazilian Institute of
Robotics

Notes:
1. All measurements in mm.
2. Use reference sketch.
3. Detail drawing.

Number: 0
Date: 07/09/2017
Author: Juliana Santori
Reviewer: Marco Reis
Comments: N/A

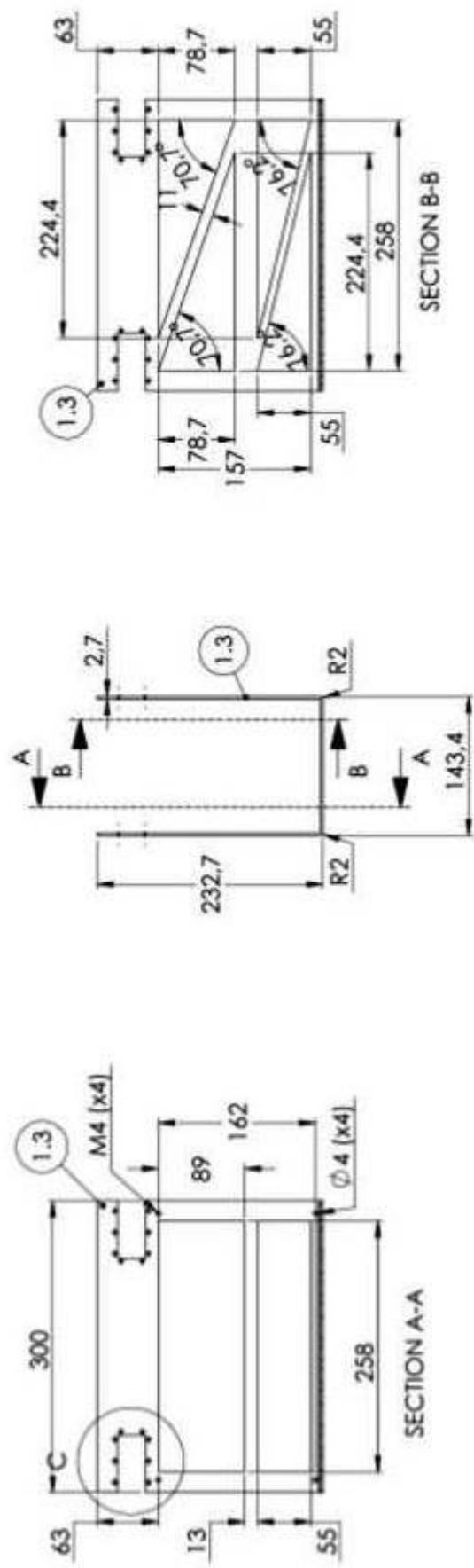
27/13

REV 0 Drawing elaboration Juliano Sartori 07/09/2017



F
E
D
C
B
A

REV
0
DESCRIPTION
Drawing elaboration
Juliano Santori 07/09/2017
DATE



ITEM	1.3	Chapa 608.8 x 300 x 2.7mm	Alumínio
Descrição	BASE - ITEM 1.3		MATERIAL
Base	PI-Ro 2.1	1.5	
Project		01	
Date		A3	
Author	Juliana Santori	Alumínio	
Reviewer	Marco Reis	Thickness:	N/A
Number	0	Revision:	4/13

SENAI FIEB
Instituto Federal de São Paulo
Instituto Federal de São Paulo
3R Robotics

Names:
1. PI-RO (elaboração do projeto)
2. Juliana Santori (elaboração do projeto)
3. Marco Reis (elaboração do projeto)

Notes:
1. As dimensões em milímetros.
2. As dimensões em milímetros.
3. O projeto é feito para impressão 3D.

Comments:
1. A estrutura é feita para ser impressa em uma impressora 3D.
2. A estrutura é feita para ser impressa em uma impressora 3D.
3. O projeto é feito para impressão 3D.

Project:
PI-Ro 2.1

Date:
07/09/2017

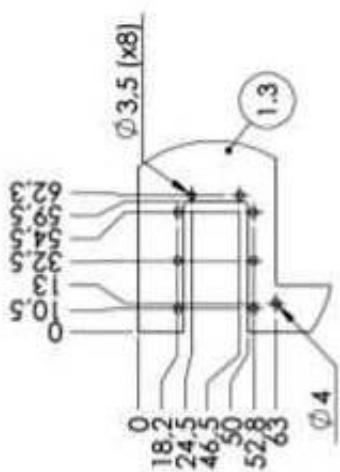
Author:
Juliana Santori

Reviewer:
Marco Reis

Number:
0

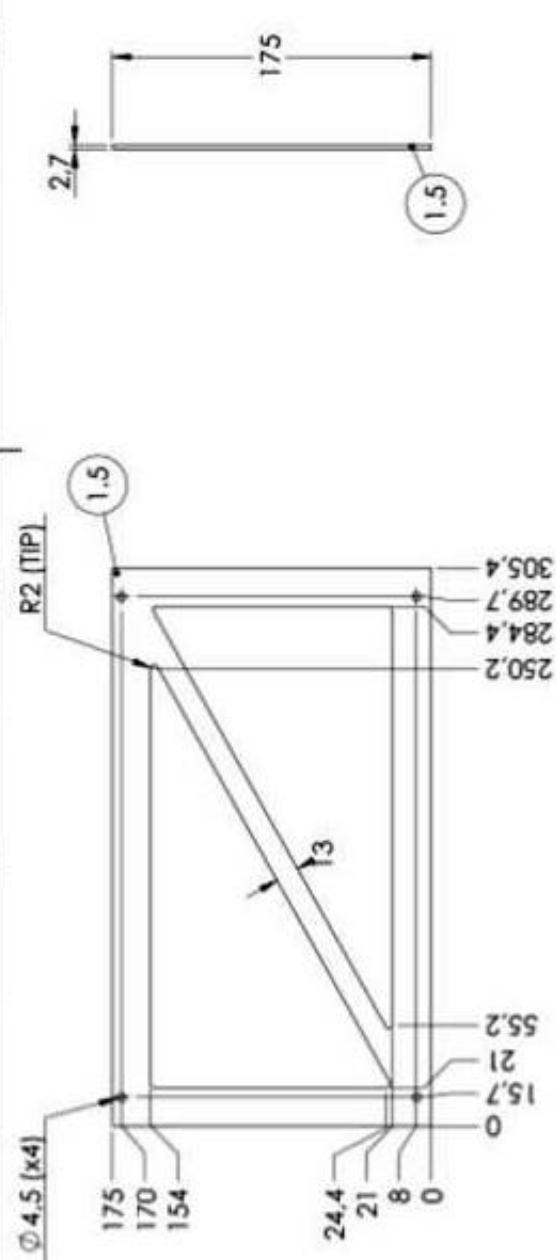
Revision:
4/13

The information in this document is the property of SENAI FIEB and may not be reproduced without written permission.

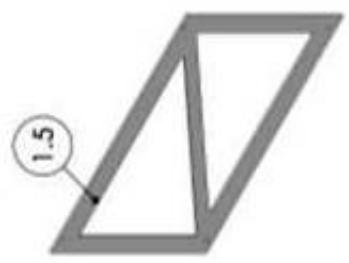


DETALHE C
ESCALA 2:5
FURAÇÃO TÍPICA PARA ENCAIXE
DO MOTOR MX-106T

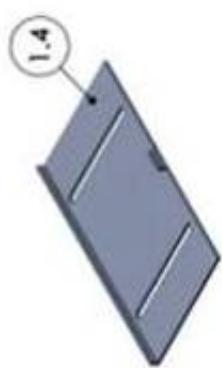
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Home School	07/09/2017



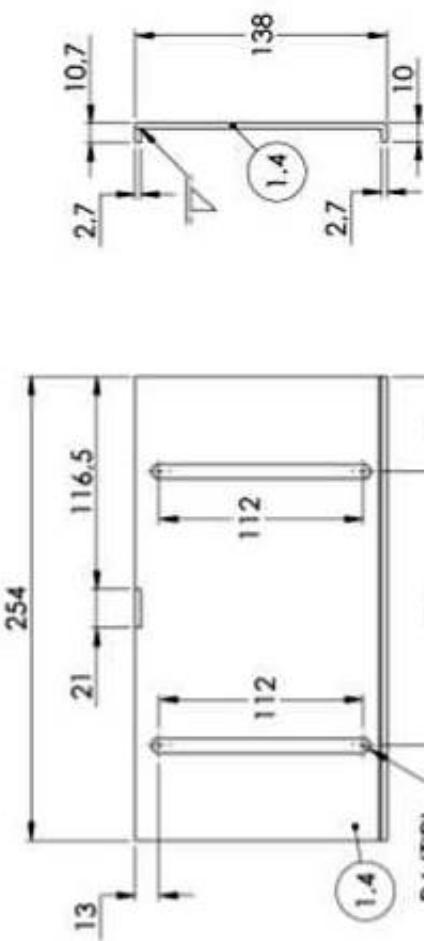
VISTA LATERAL VISTA FRONTEIRA



5



14

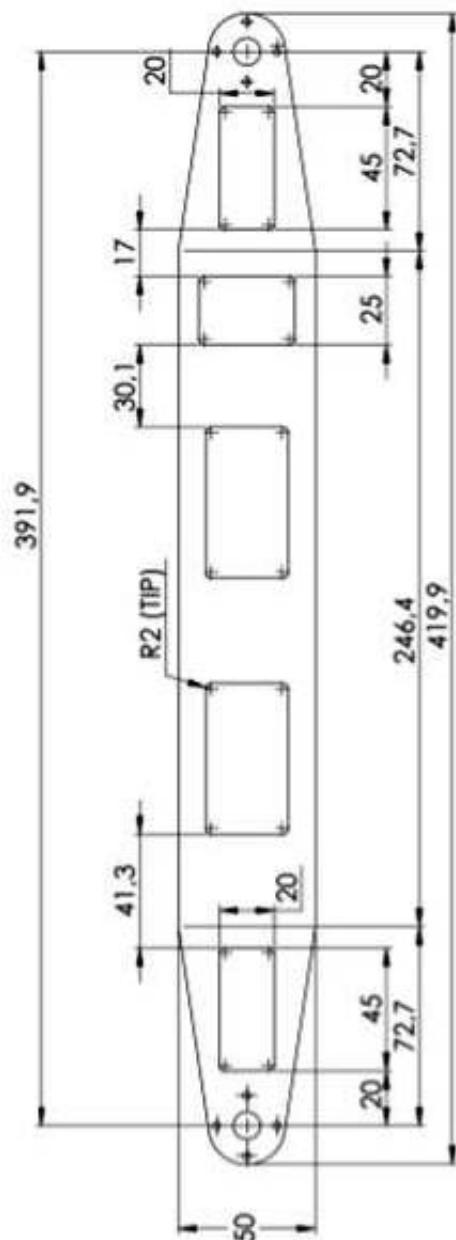


VISTA LATERAL

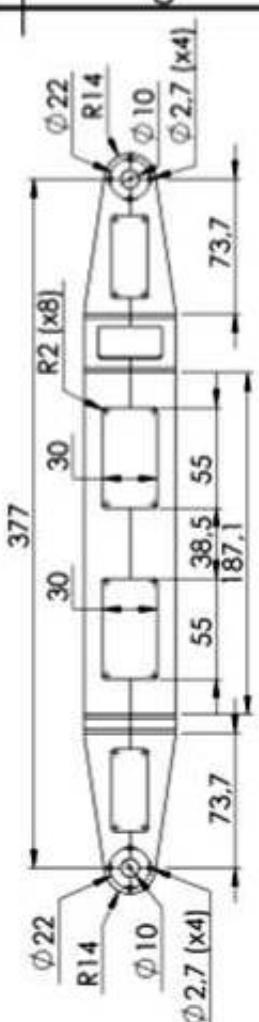
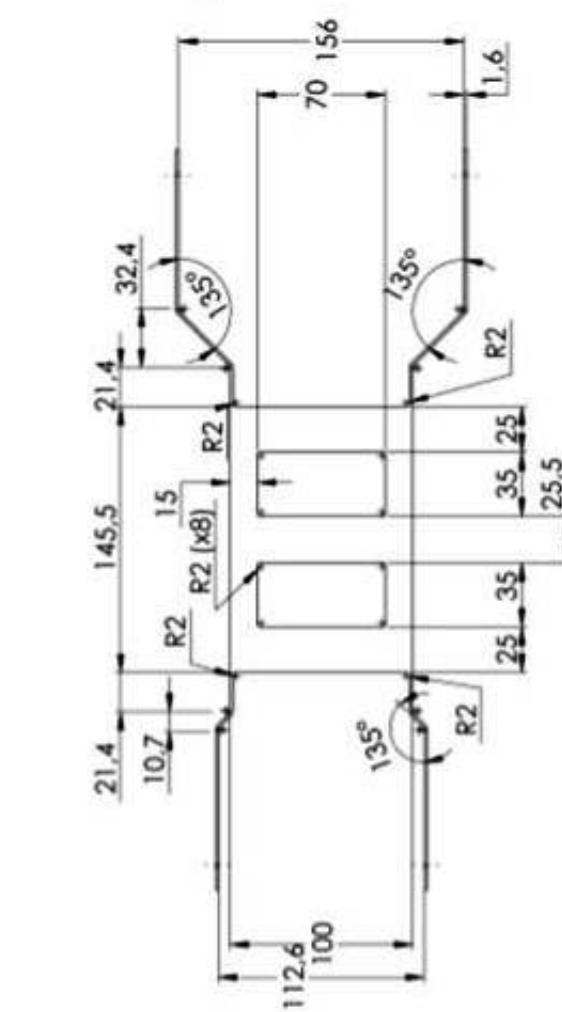
VISTA FRONTAL

SENAI	FIEB Federação das Indústrias do Estado de Bahia	 3R Robotics	BASE - ITENS 1.4 E 1.5	
ITEM	DESCRIÇÃO		MATERIAL	QUANT.
5	Chapa 305,4 x 145 x 2,7mm	Aluminio	1.2	-
		MATERIAL	A3	-
		Processo	5/13	-
		Projeto	PRo 2.1	
		Orçamento	Juliana Santori Marco Reis	
		Tecnologia	Aluminio N/A	
		Nome	Assinatura	
		Data	07/09/2012	
		Observações	O	

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlianio Santori	07/11/2016
A	Modificação de dimensões	Júlianio Santori	07/09/2017



VISTA ISOMÉTRICA



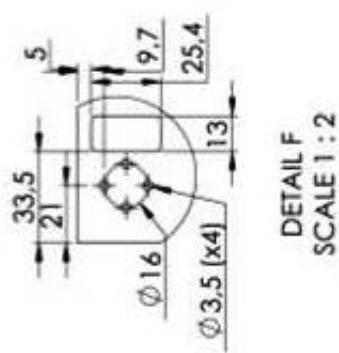
NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 3,0mm.
NOTA 02: AS DIMENSÕES DE ABERTURA (156mm e 112,6mm) DEVEM SER MANTIDAS APÓS A REALIZAÇÃO DAS DOBRAS DO PERFIL.

BRAÇO- ITEM 02	
Project:	PI-Ro 2.1
Drawn:	Júlianio Santori
Approved:	Marco Reis
Date:	07/09/2017
Rev:	0
Material:	Alumínio
Thickness:	N/A
Scale:	1:2
Comments:	NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 3,0mm. NOTA 02: AS DIMENSÕES DE ABERTURA (156mm e 112,6mm) DEVEM SER MANTIDAS APÓS A REALIZAÇÃO DAS DOBRAS DO PERFIL.

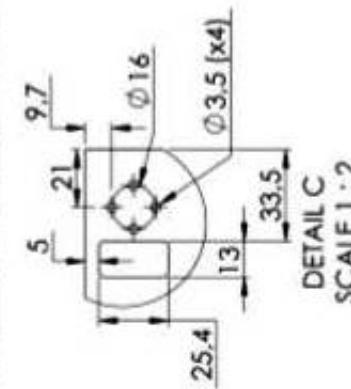
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlio Soárez	07/11/2019
A	Modificação da dimensão	Júlio Soárez	18/11/2019



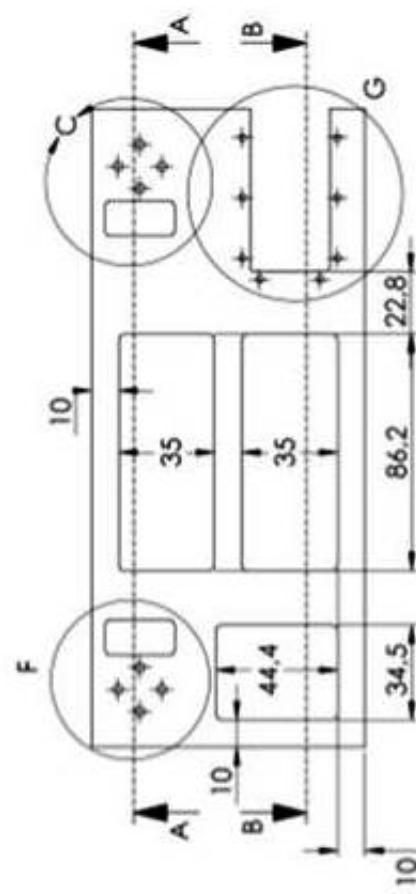
SECTION A-A



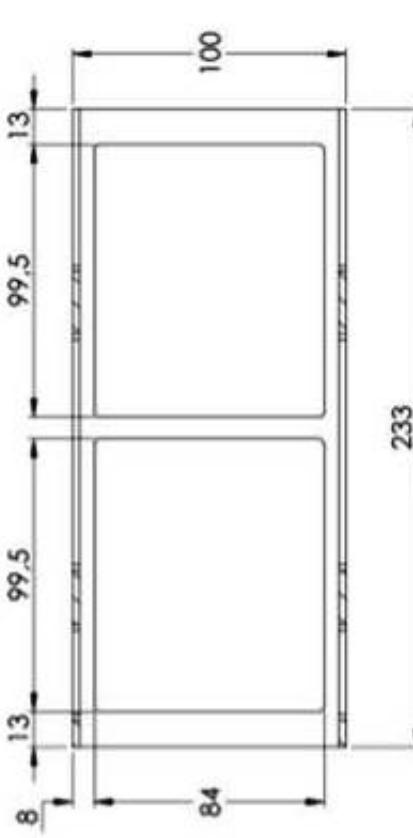
DETAIL F
SCALE 1:2



DETAIL C
SCALE 1:2



VISTA FRONTAL

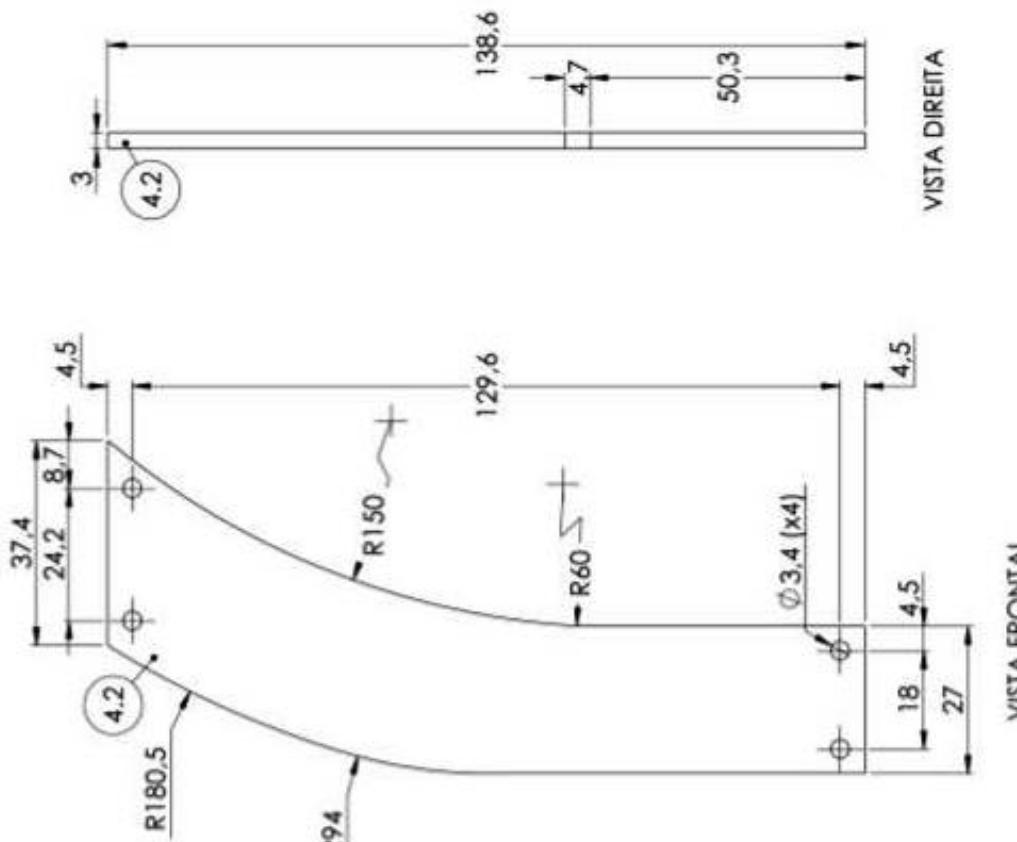


233

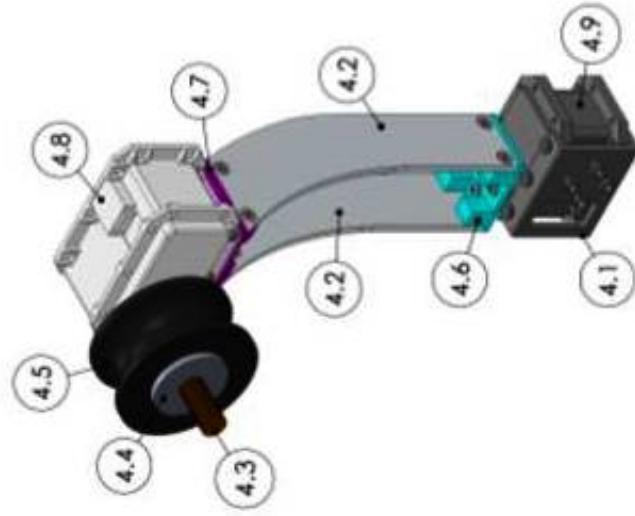


NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 2mm.

Brake Time:	UNIDADE DE TRAÇÃO - ITEM 03	Project:	PI-Ro 2.1
Version:	02	Start:	A3
Comments:		Planning:	
Due Date:	Júliaana Santori	Completion:	
Author:	Marco Reis	Threat Level:	N/A
Date:	07/09/2017	Time:	09:00:00
Reason:	Final Review	Location:	3R Robotics
Notes:	1. All requirements in item 2. All requirements in item 3. Document Review	Participants:	Marco Reis, Júliaana Santori



VISTA ISOMÉTRICA



ITEM	DESCRICAÇÃO	QTD	MATERIAL
4.9	Motor MX-28	05	-
4.8	Motor MX-106T-31	05	-
4.7	Garra- Chapa IV	05	Alumínio
4.6	Garra- Chapa III	05	Alumínio
4.5	Roldana externa	05	Borracha
4.4	Roldana interna	05	Alumínio
4.3	Eixo Roldana	05	Alumínio
4.2	Garra- Chapa I	10	Alumínio
4.1	Suporte garra	05	Alumínio



Nome:	Julianna Santori	Nome:	Alumínio
Função:	Armadura	Material:	
Assinatura:	Juliana Santori	Assinatura:	N/A
Assinatura:	Marco Reis	Assinatura:	

Nota: 1. As dimensões em milímetros.
2. Unidade utilizada: milímetro.
3. Central Drawing

Revisão: 0 Data: 07/09/2017 Usado para elaboração de projeto de engenharia.

4

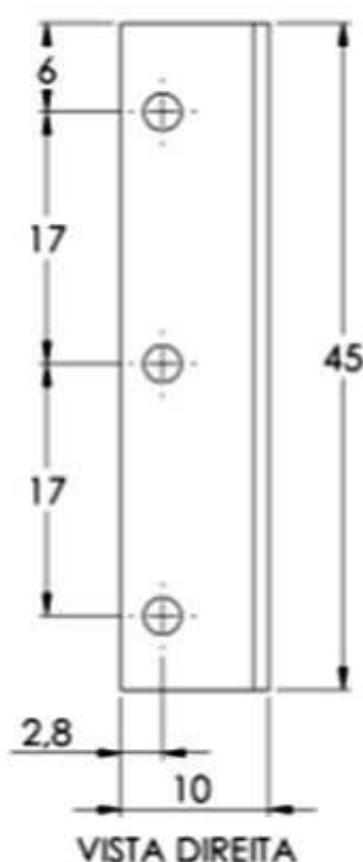
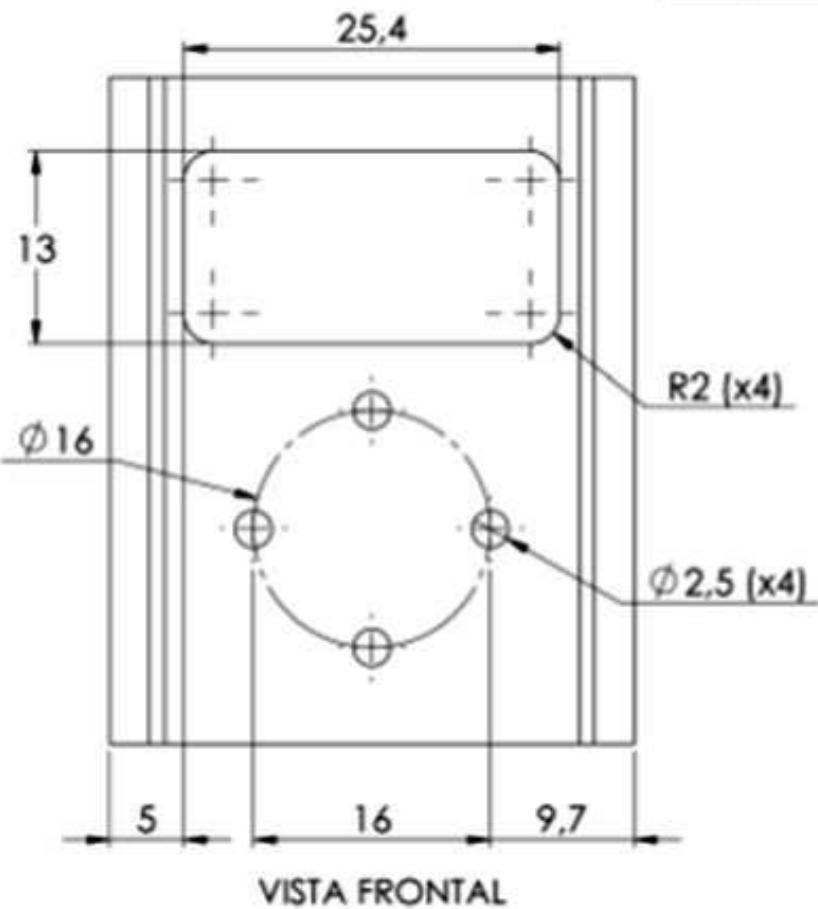
3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F



D

C

B

F

E

D

C

B

A

VISTA FRONTAL

VISTA DIREITA

VISTA INFERIOR

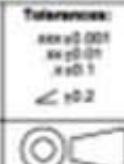


VISTA ISOMÉTRICA



Notes:
 1. All measurement in mm
 unless otherwise specified.
 2. Remove cutting edge
 3. Default finishing

Revisão:
 0



Draw Title:

CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.1

Scale: 2:1

Quantity: 05

Size: A4

Finishing:

Project: PI-Ro 2.1

Author:

Juliana Sartori

Approver:

Marco Reis

Date:

07/09/2017

Material: Alumínio

ThermalT:

N/A

Page: 9/13

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR
USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

3

2

1

4

3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F

F

E

E

D

D

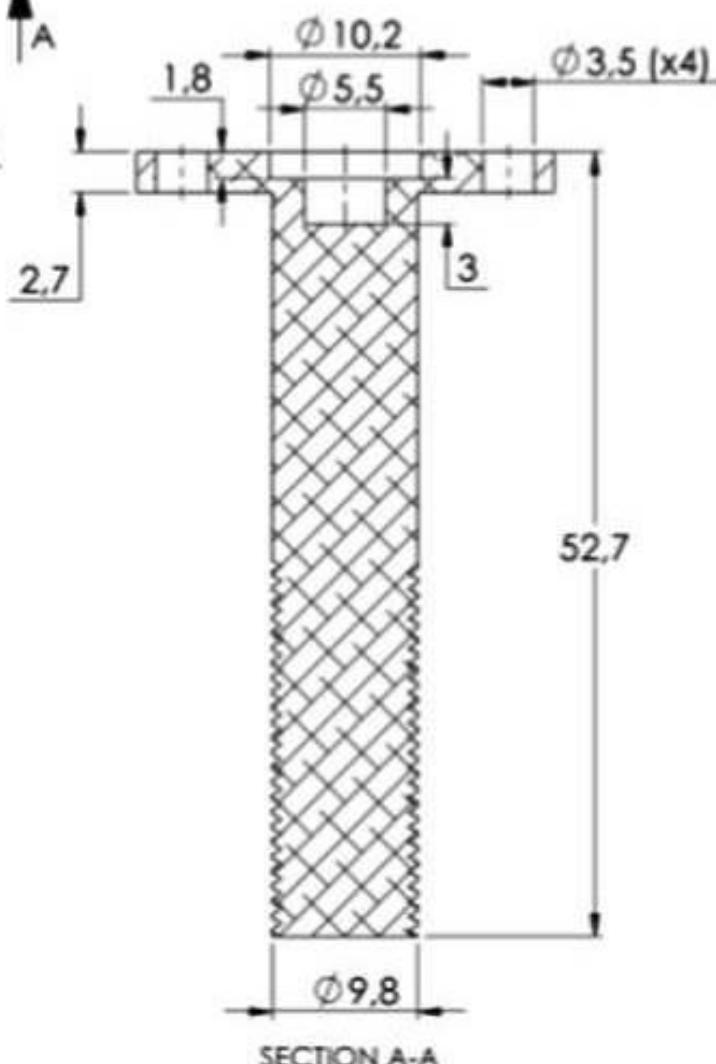
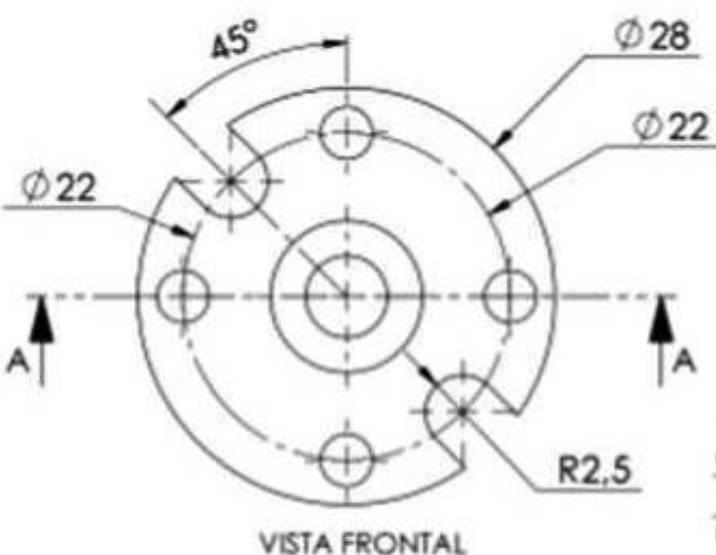
C

C

B

B

VISTA ISOMÉTRICA



SENAI SISTEMA	
FIEB	
Poderoso dos Indústrias do Estado de São Paulo	
BR	Brazil Institute of Robotics
Notes:	
1. All measurement in mm unless otherwise specified 2. Remove cutting edge 3. Default finishing	
Tolerances: ± 0.02 (0.01) ± 0.01 ± 0.1 ± 0.2	
Reviewed: 0	Date: 07/09/2017

Draw Title:	CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.3		
Project:	PI-Ro 2.1		
Draw:	Juliana Sartori	Material:	Alumínio
Approved:	Marco Reis	Thermal T:	N/A
Scale:	2:1	Quantity:	05
Size:	A4	Finishing:	
Date:	The information in this document cannot be copied, given away or used for other means except those contained in the contract terms.		
Page:	10/13		

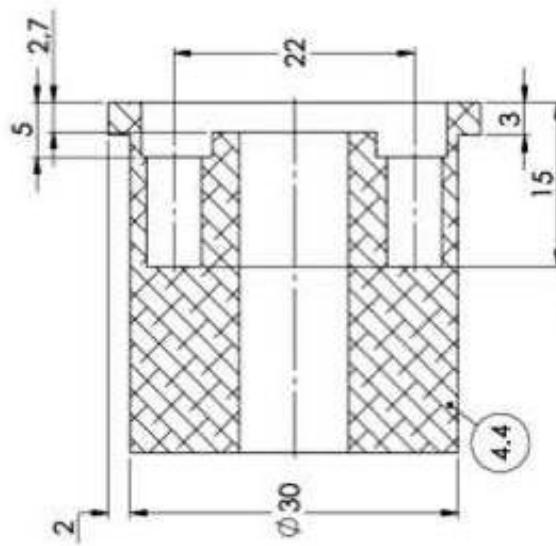
4

3

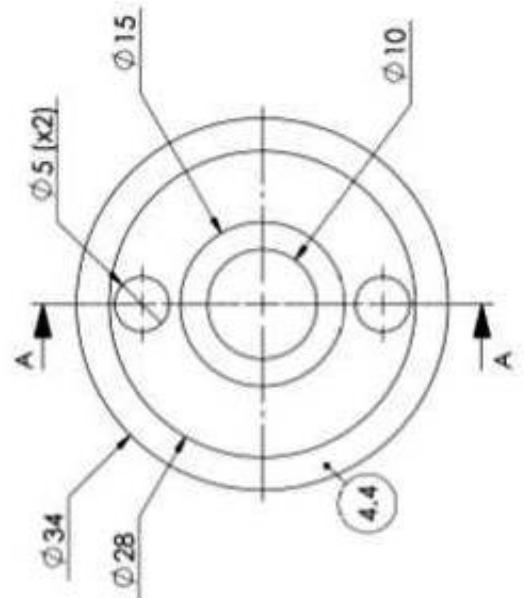
2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Julianna Santori	07/09/2017



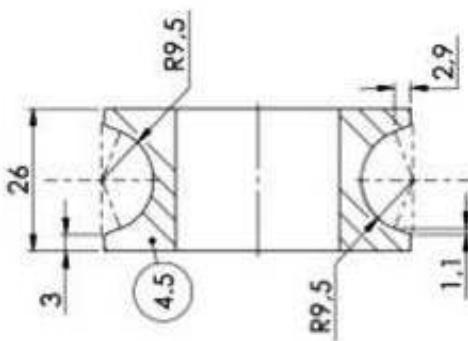
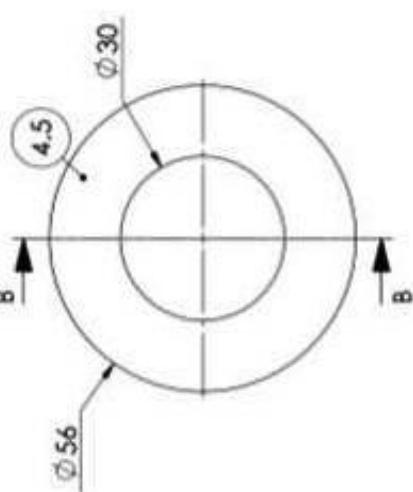
SECCION A-A



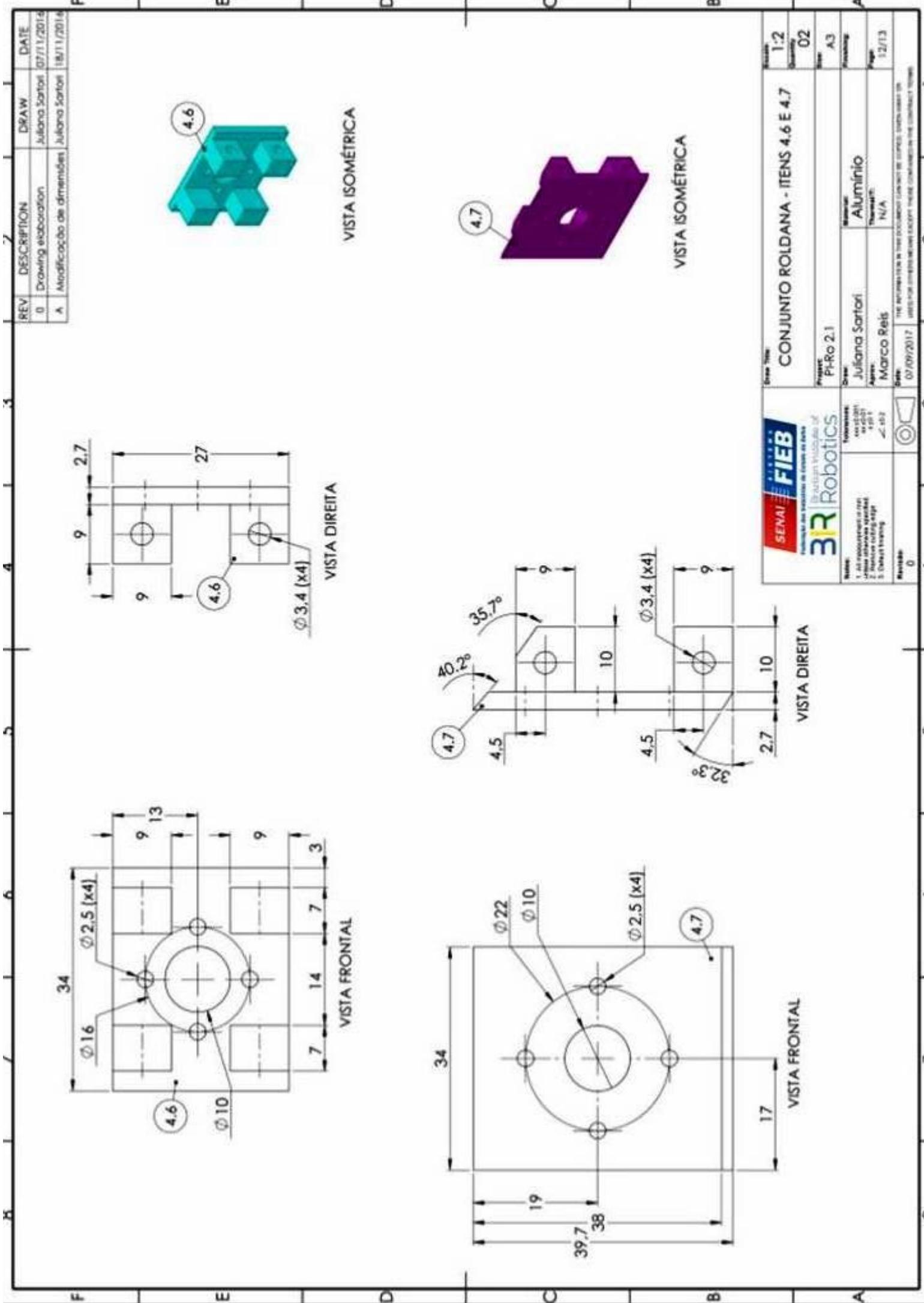
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

SECTION B-B
ESCALA 1:1VISTA
FRONTAL
ESCALA 1:1

SENAI Instituto Nacional de Desenvolvimento FIEB Instituto Mineiro de Desenvolvimento BIR Brazilian Institute of Robotics	Drawn:	CONJUNTO ROLDANA	Rev:	2.1
	Checked:	ITEM 4.4 E 4.5	Date:	05/05/2017
Project:	PhRo 2.1	Material:	Aluminio	Printed:
Name:	Julianna Santori	Author:	N/A	Date:
Address:	Marco Reis	Comments:	N/A	17/13
Phone:				
				The information in this drawing must be kept confidential and may not be reproduced without the express written consent of the contractor or customer.



4

3

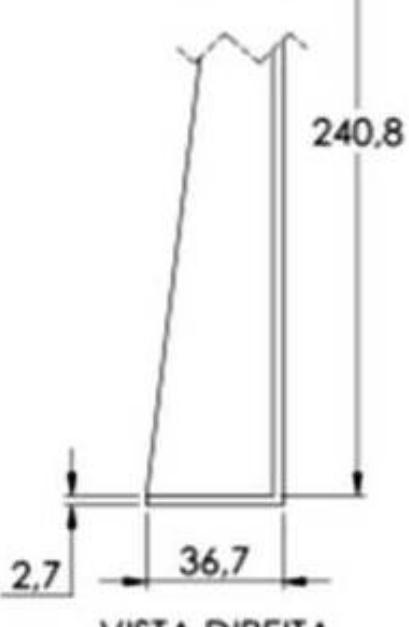
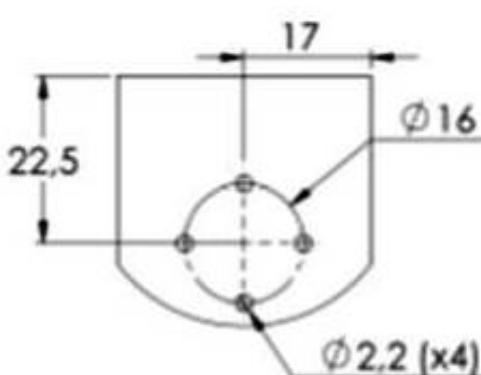
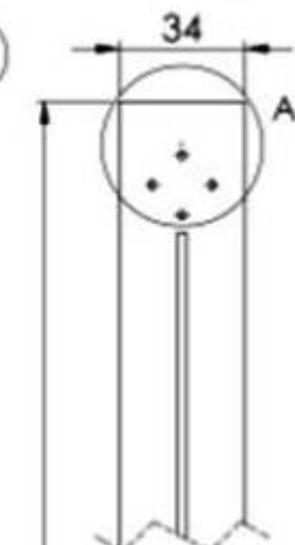
2

1

F

F

5

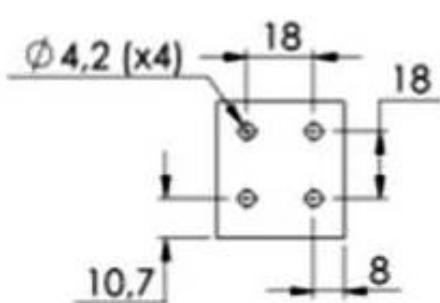


VISTA FRONTAL

VISTA DIREITA



VISTA INFERIOR



Brazilian Institute of Robotics	
Notes:	Tolerances:
1. All measurement in mm 2. Unless otherwise specified. 3. Remove cutting edges	±0.001 ±0.01 ±0.1 ≤ ±0.2
Revisado: 0	Date: 07/09/2017

Draw Title:	HASTE CENTRAL - ITEM 5			Scale: 1:2
Project:	PI-Ro 2.1			Quantity: 01
Draw:	Juliana Sartori			Size: A4
Approved:	Marco Reis			Material: Alumínio
Thermal:	N/A			Finishing:
				Page: 13/13
THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR USED FOR OTHER MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.				

4

3

2

1

E

E

D

C

B

A

Diagramas eletro-eletrônicos

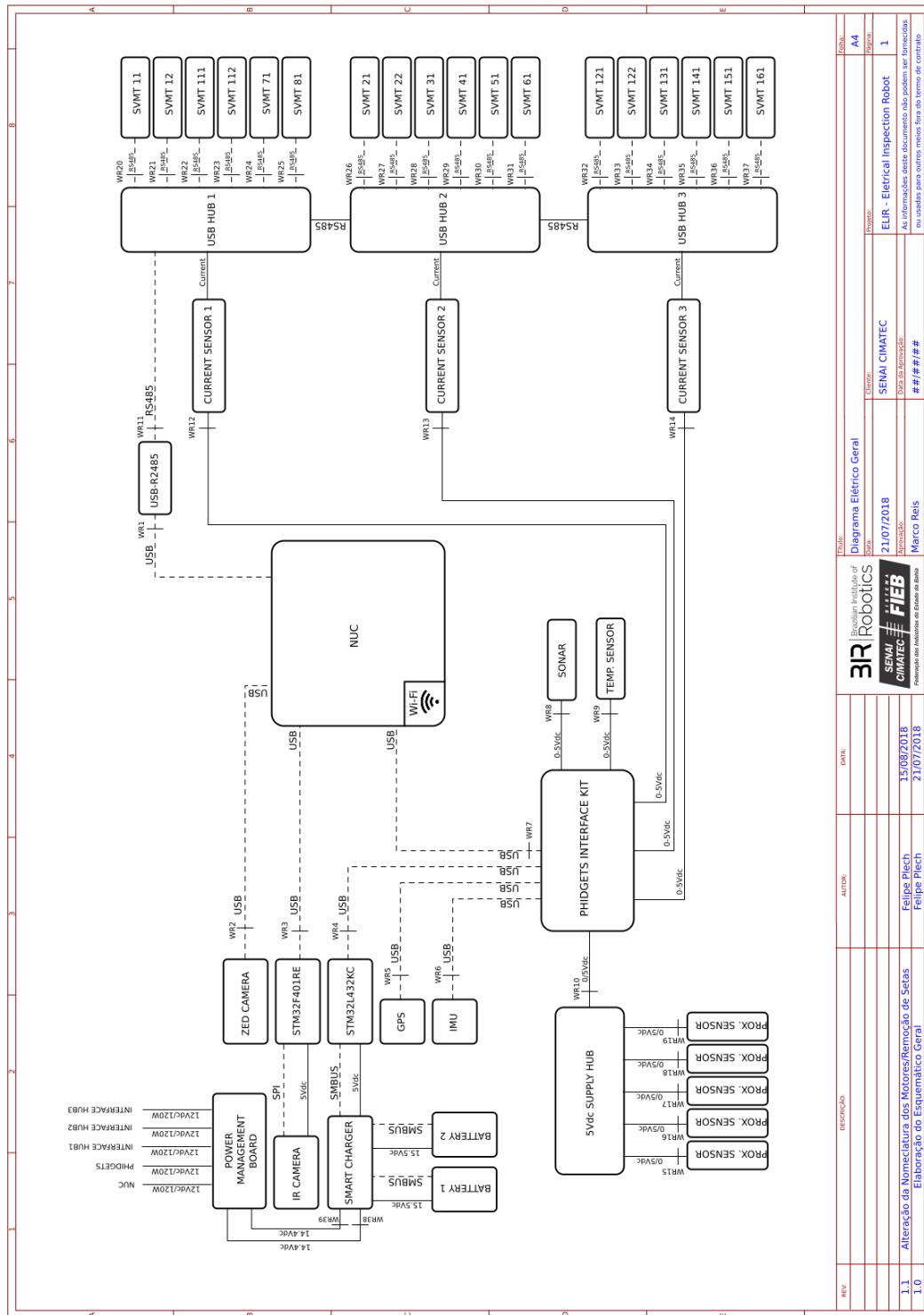


Figura C.1: Esquemático Geral

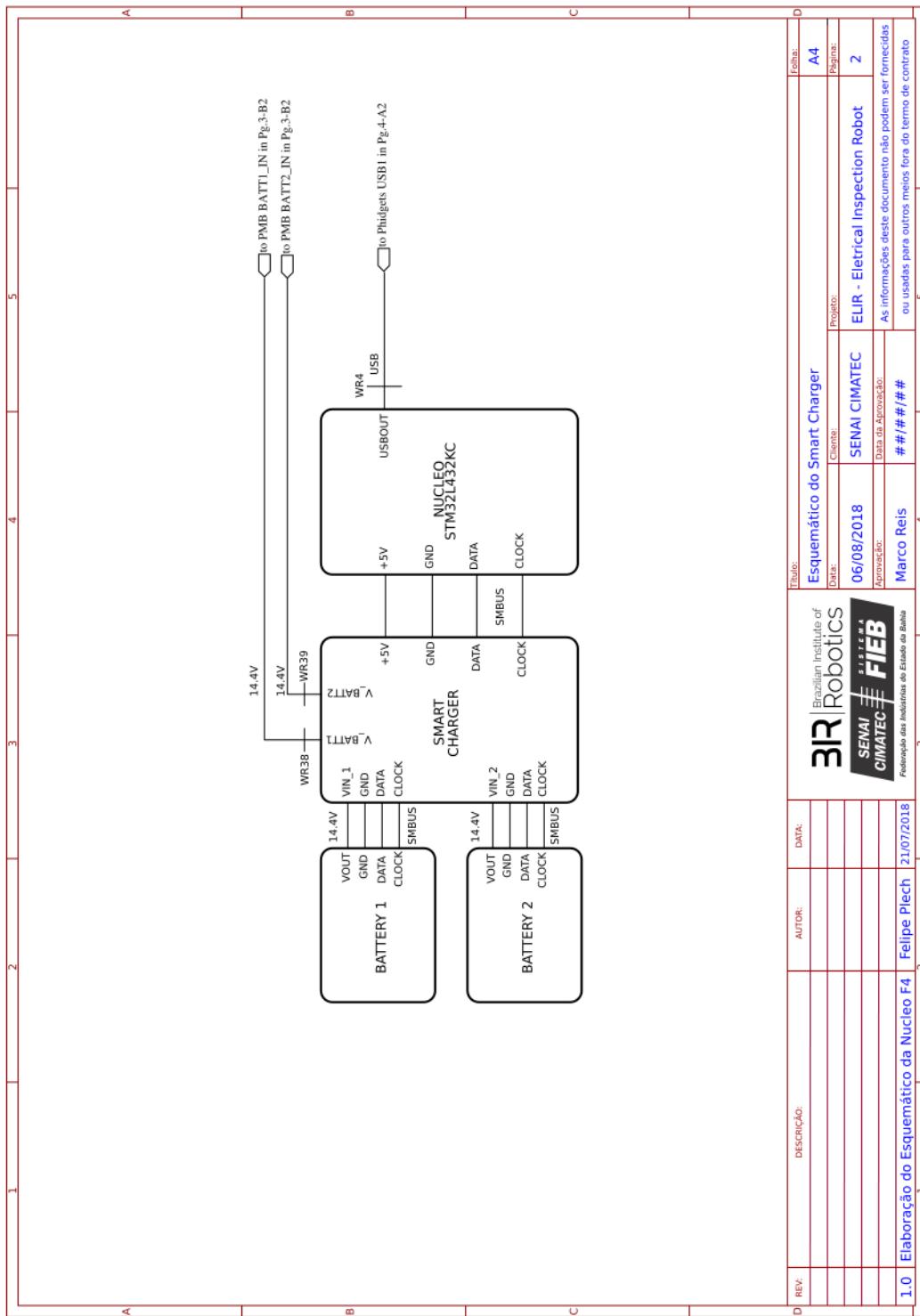


Figura C.2: Esquemático - Smart Charger

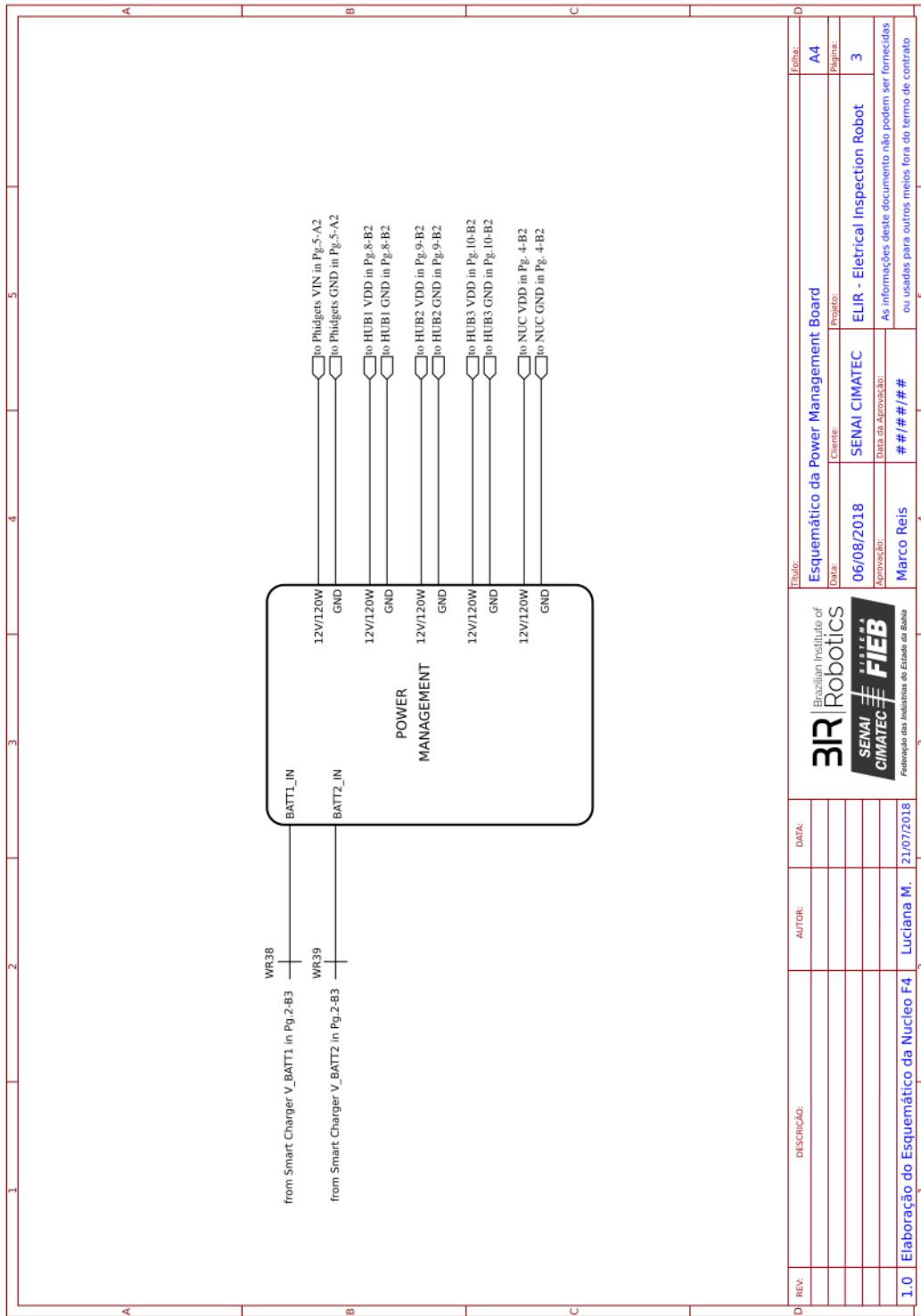


Figura C.3: Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia

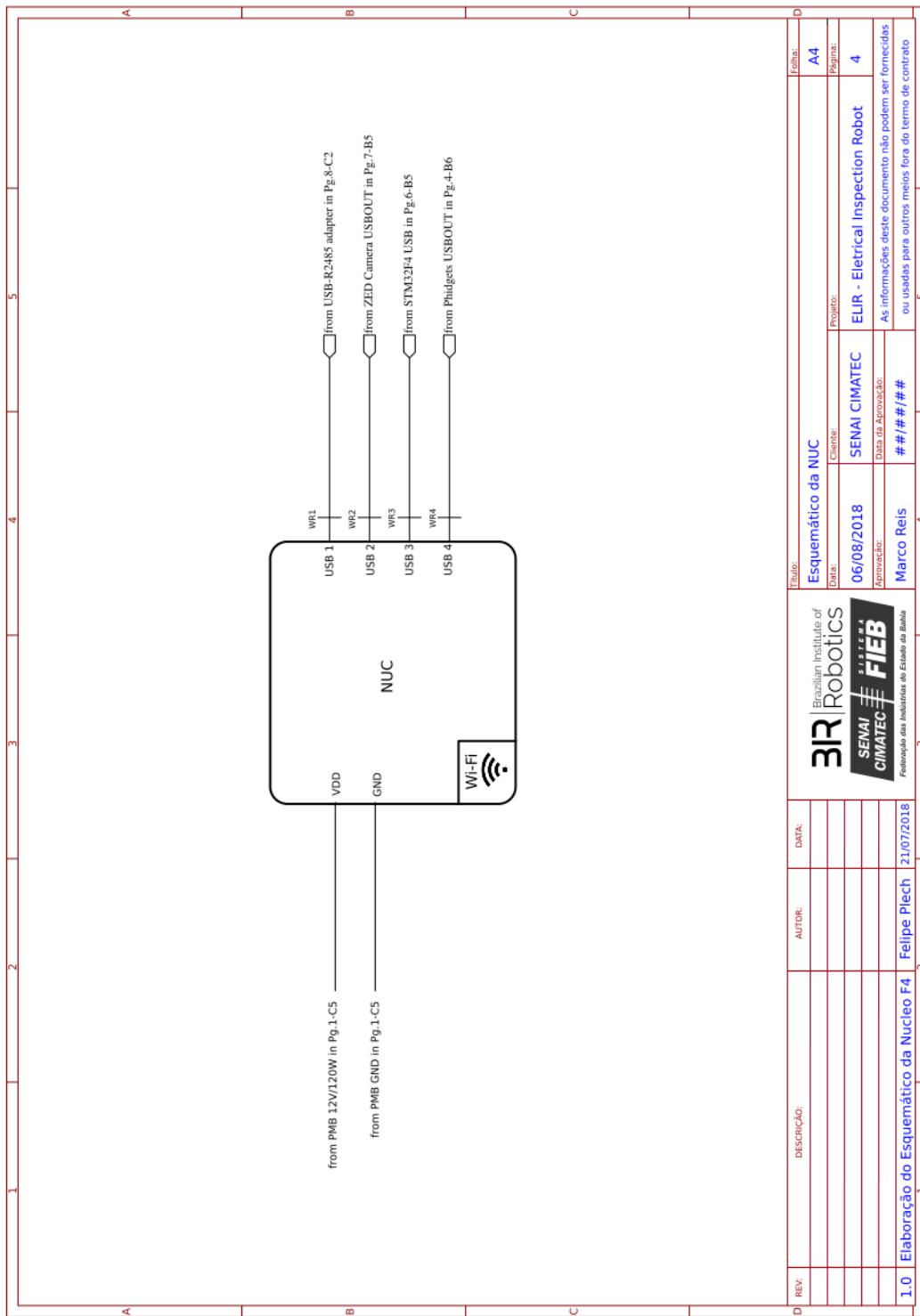


Figura C.4: Esquemático - NUC

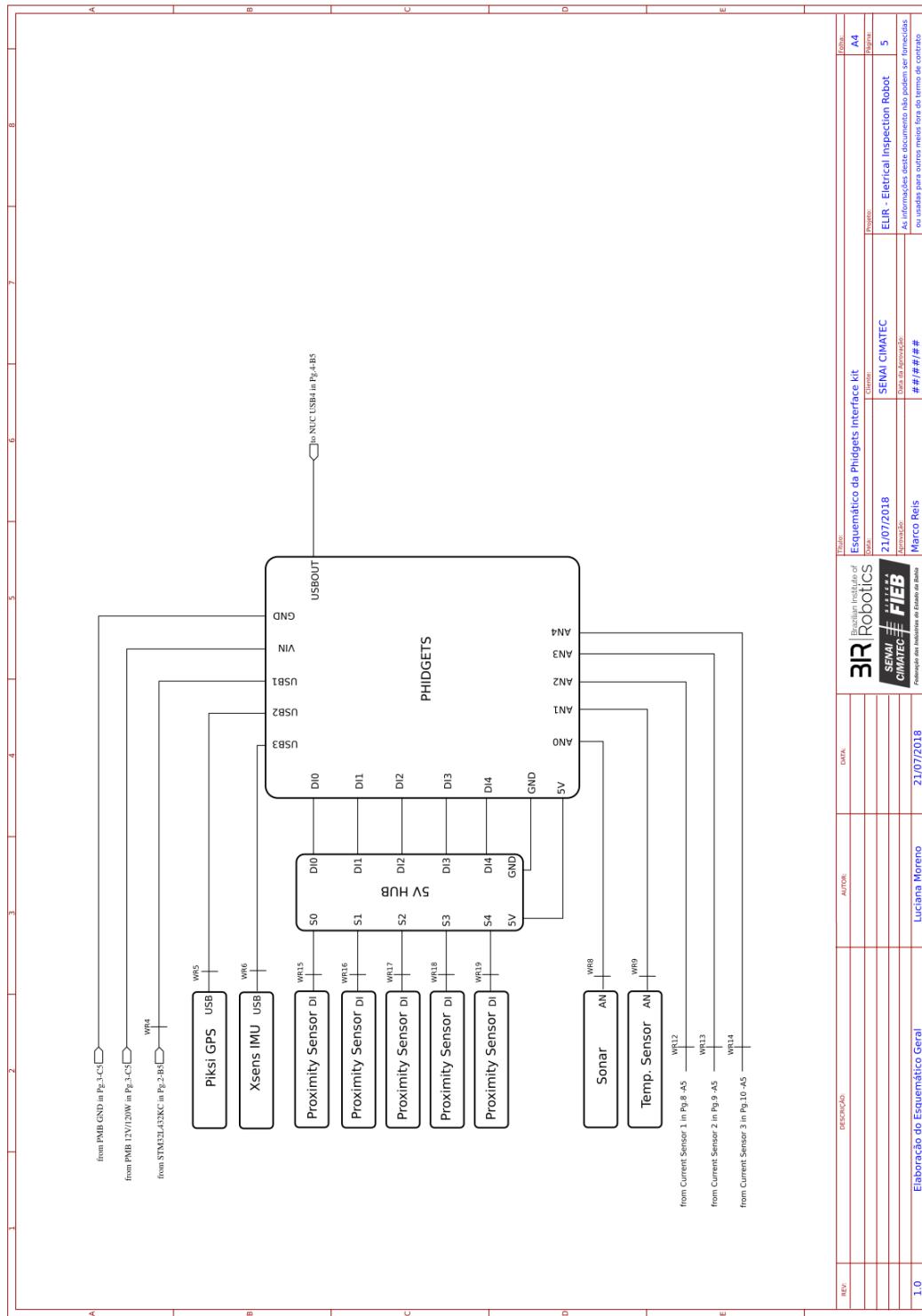


Figura C.5: Esquemático - Phidgets

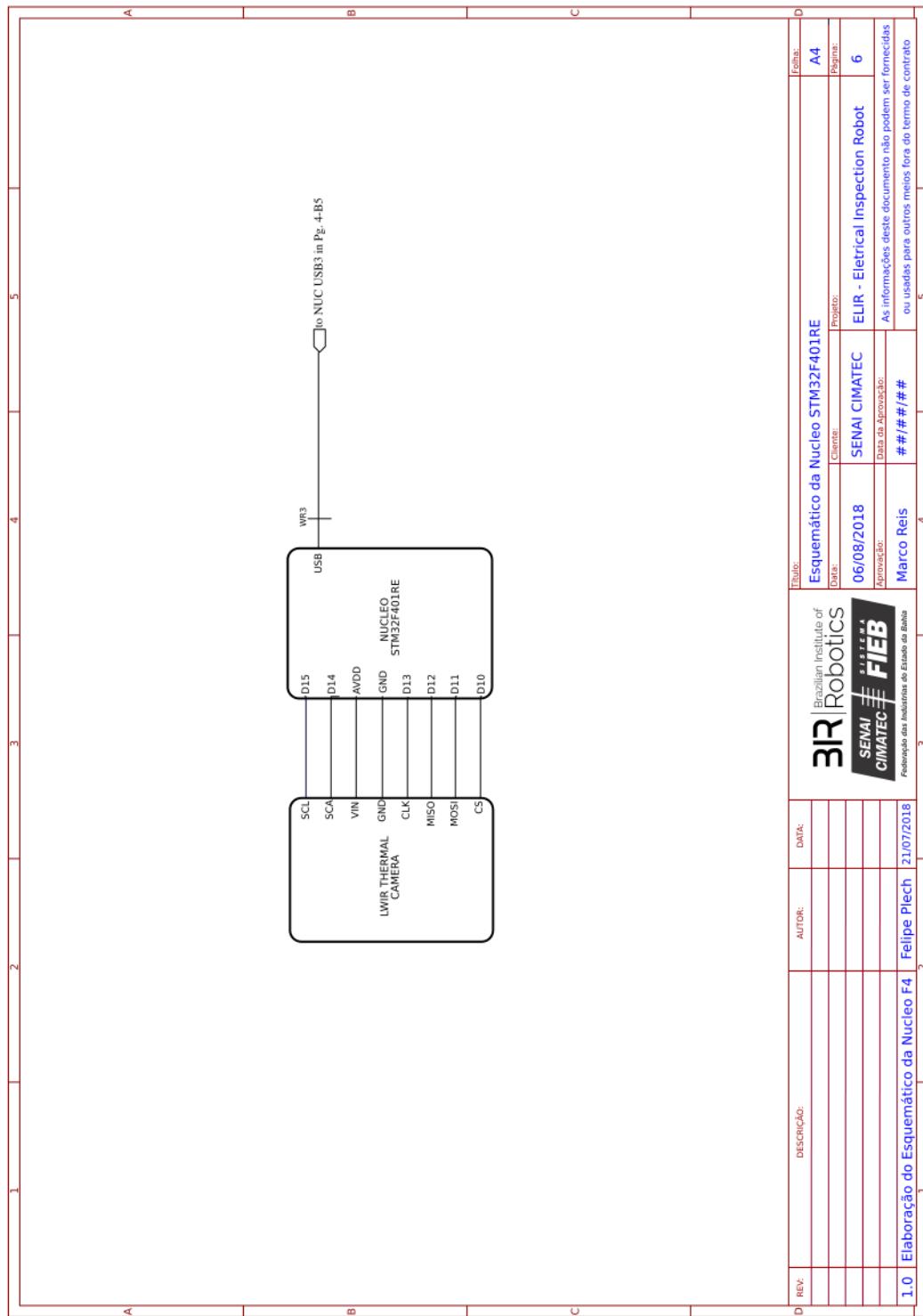


Figura C.6: Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera

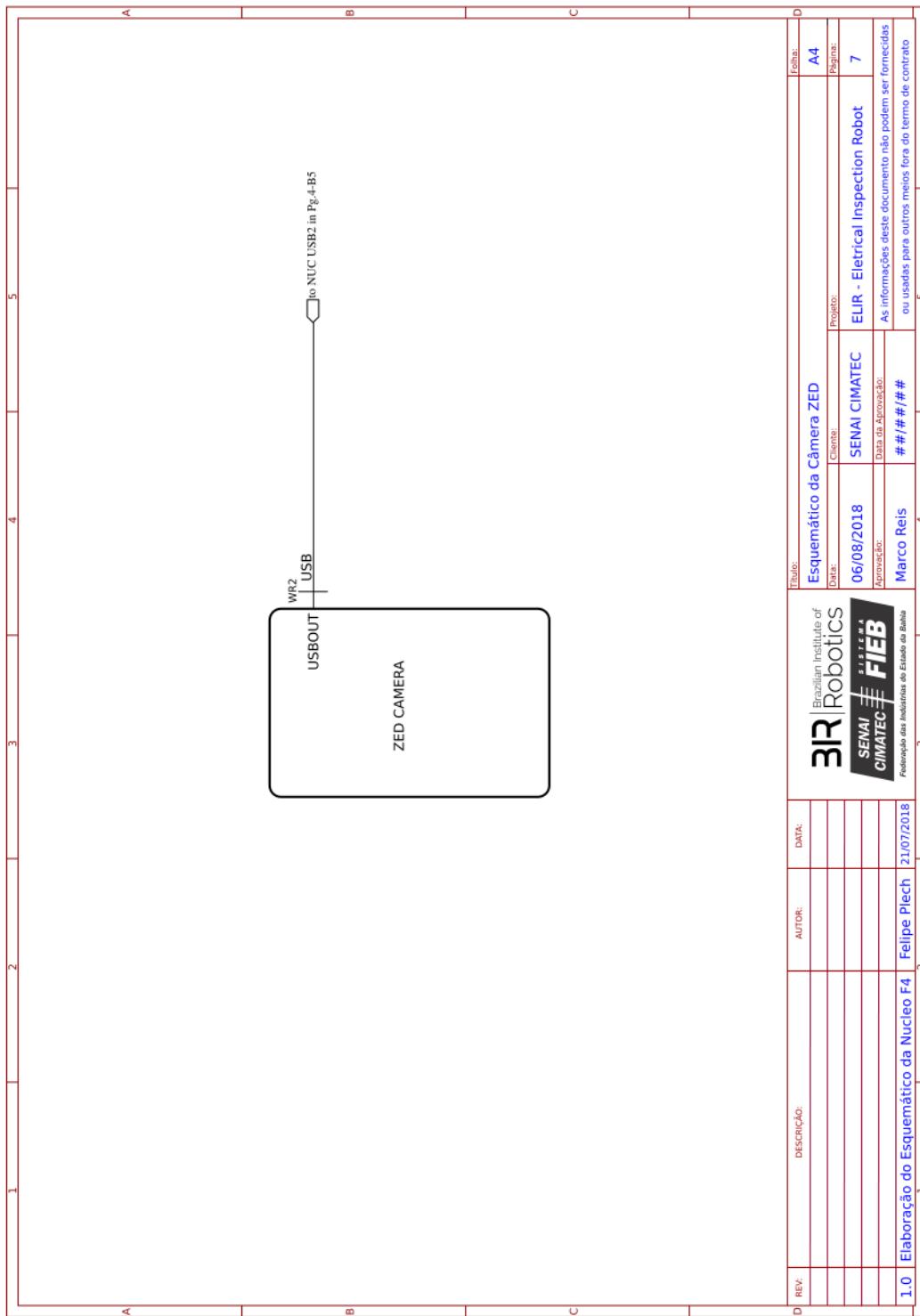


Figura C.7: Esquemático - ZED Camera

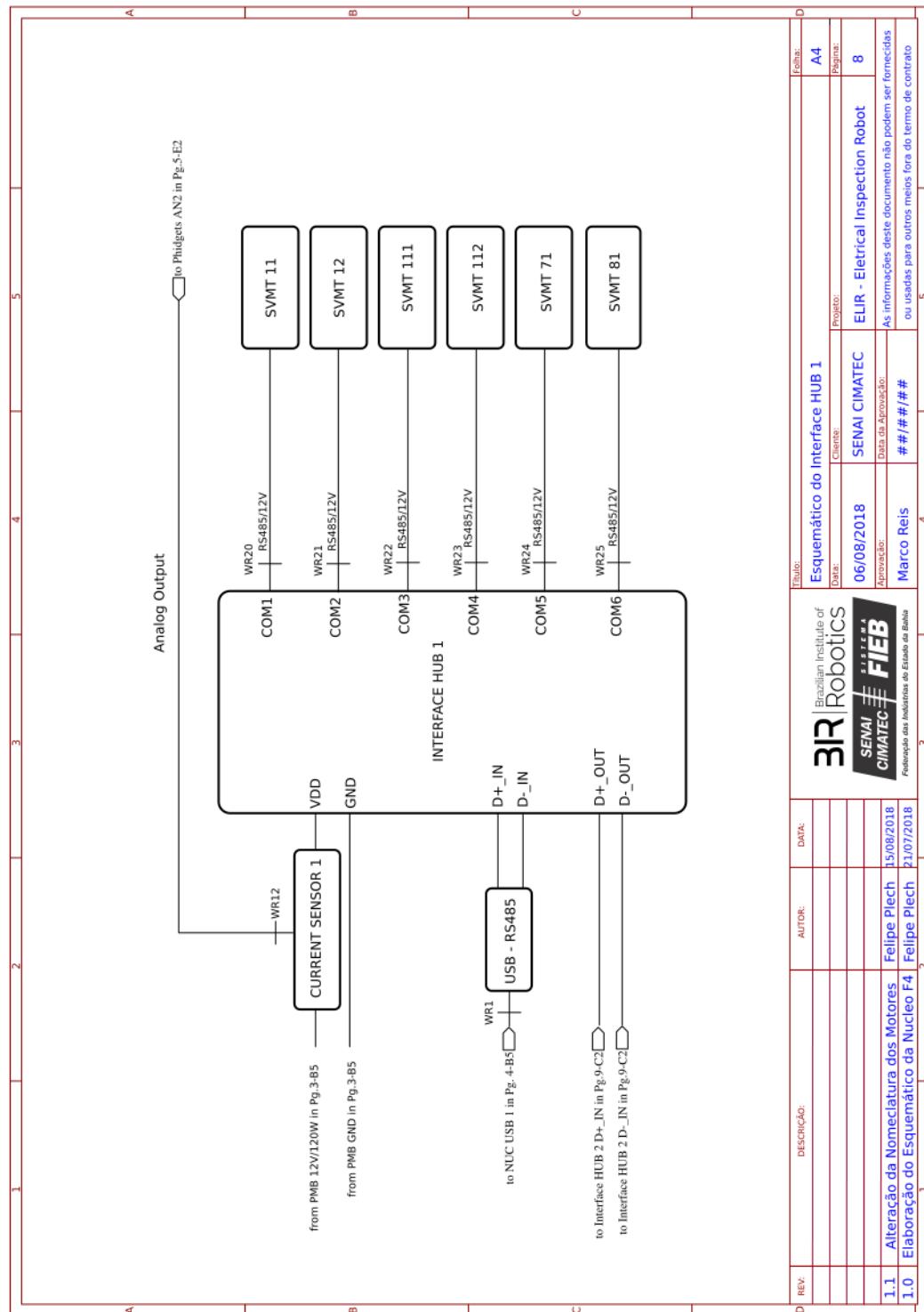


Figura C.8: Esquemático - HUB dos Atuadores 1

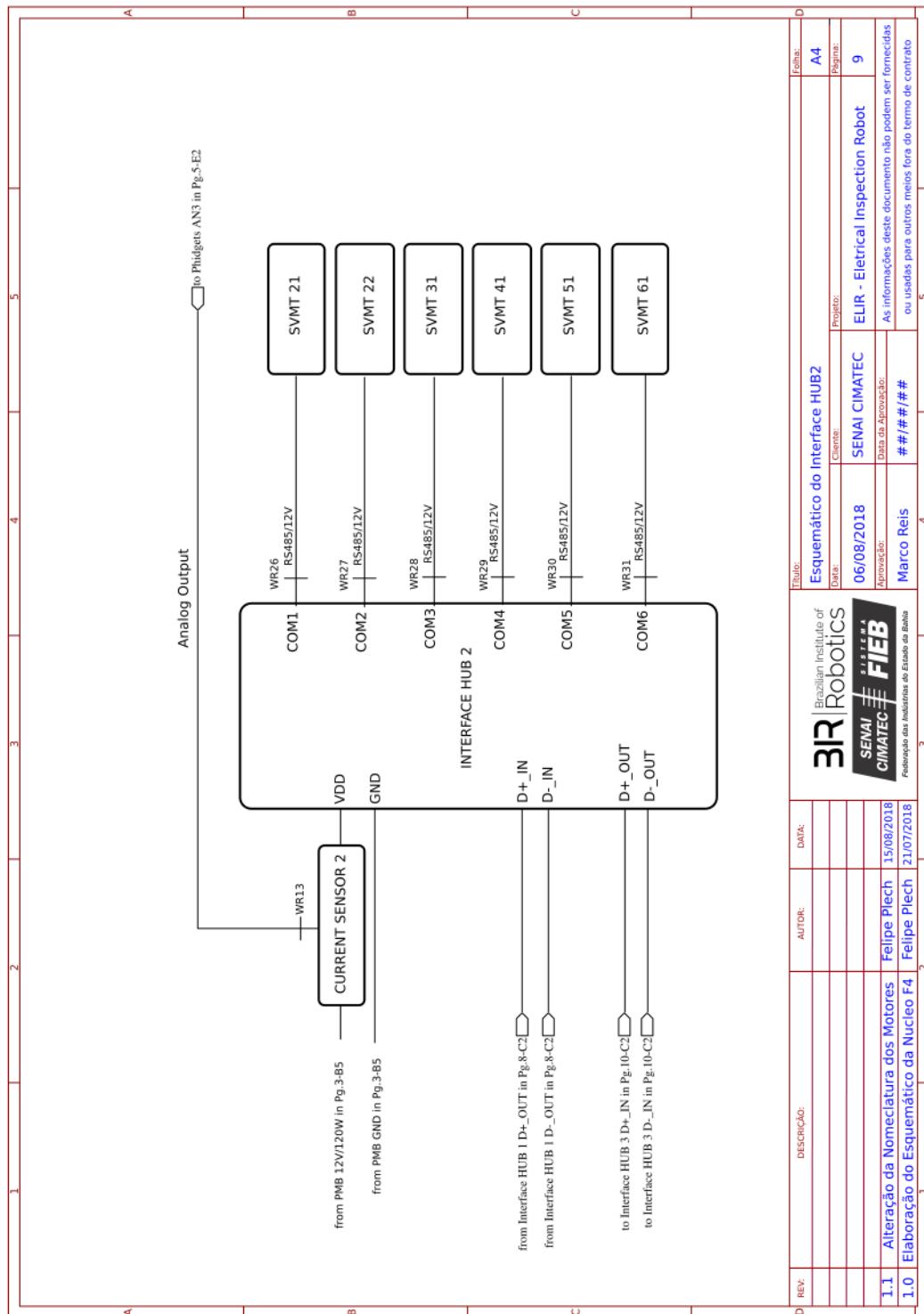


Figura C.9: Esquemático - HUB dos Atuadores 2

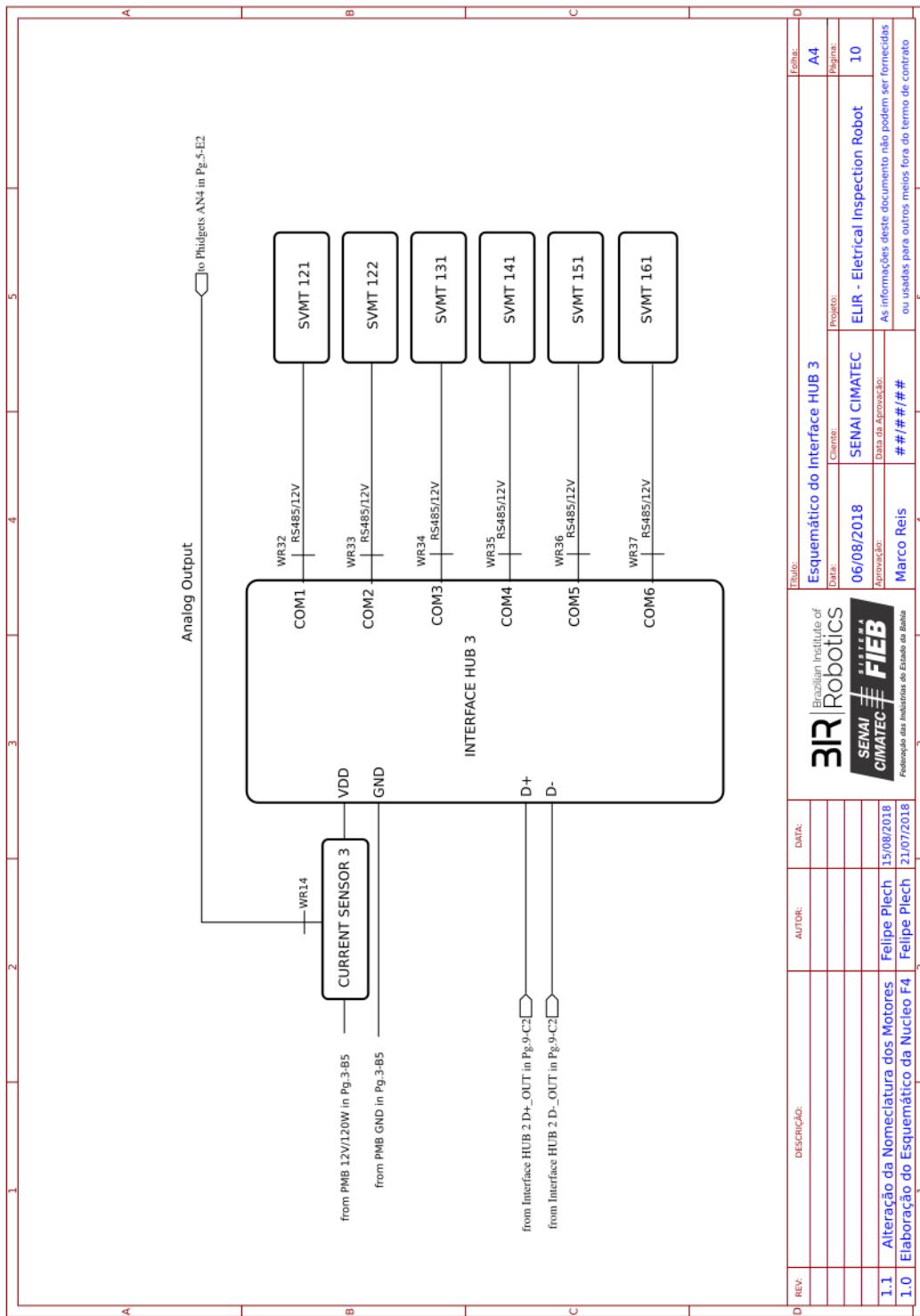


Figura C.10: Esquemático - HUB dos Atuadores 3

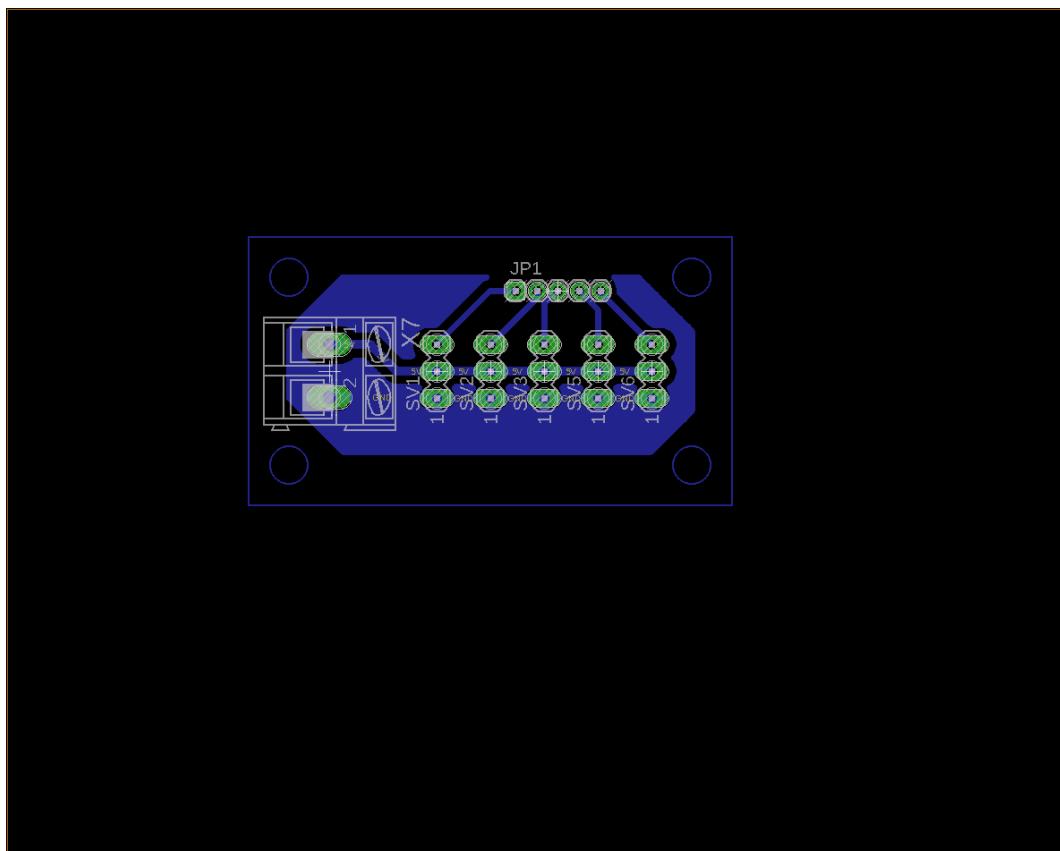


Figura C.11: Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade

Wireframes

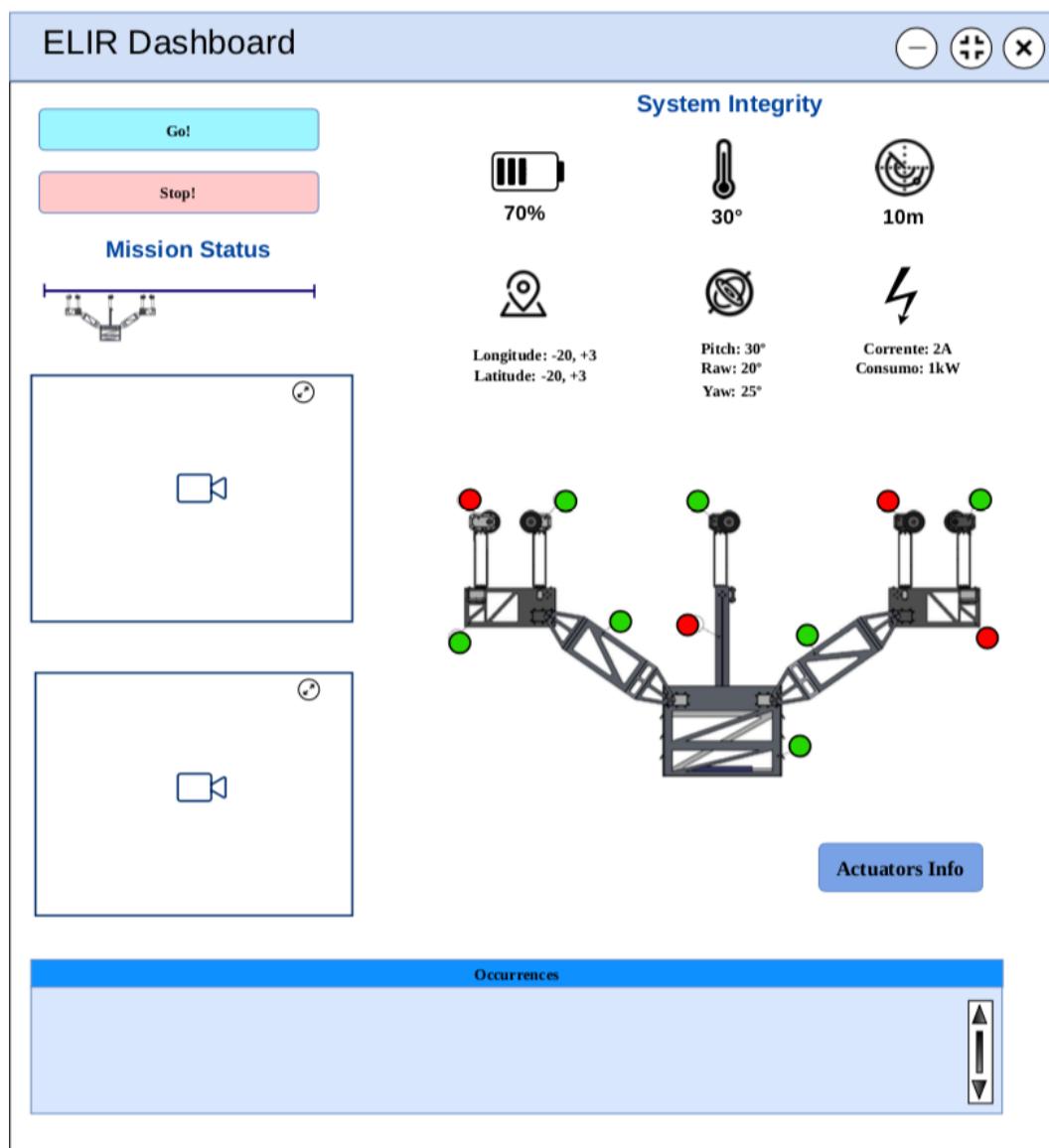


Figura D.1: Dashboard - Main page

Actuators Info			
	Current	Voltage	Temperature
 HUB1 3A	SVMT 11	2 A	2.5 A
	SVMT 12	5 A	2 A
	SVMT 111	4.3 A	1 A
	SVMT 112	2 A	3 A
	SVMT 71	1 A	15 A
	SVMT 81	4 A	6 A
 HUB2 3A	SVMT 21	2 A	2.5 A
	SVMT 22	5 A	2 A
	SVMT 31	4.3 A	1 A
	SVMT 41	2 A	3 A
	SVMT 51	1 A	15 A
	SVMT 61	4 A	6 A
 HUB3 3A	SVMT 121	2 A	2.5 A
	SVMT 122	5 A	2 A
	SVMT 131	4.3 A	1 A
	SVMT 141	2 A	3 A
	SVMT 151	1 A	15 A
	SVMT 161	4 A	6 A

Figura D.2: Dashboard - Actuators Info Page

Logbook

Lista de componentes

ELIR project - BILL OF MATERIAL

\$3.60

Referências Bibliográficas

- ALVARO. *Criando Estrutura Básica do ROS*. 2018. Disponível em: [⟨https://sites.google.com/site/alvaroccomp/part-3-issn-units/ros-e-pucks/criando-estrutura-basica-do-ros⟩](https://sites.google.com/site/alvaroccomp/part-3-issn-units/ros-e-pucks/criando-estrutura-basica-do-ros). 2
- FITZPATRICK, P. *Perception and Perspective in Robotics*. Cambridge, MA, 2003. 2
- GYVER, M. M. et al. *LeptonModule - Nucleo F401RE Driver*. Santa Barbara: [s.n.], 2017. Disponível em: [⟨https://github.com/groupgets/LeptonModule⟩](https://github.com/groupgets/LeptonModule). 4.1.1
- MICHAELIS. *Percepção*. 2004. URL: <http://michaelis.uol.com.br>. 2
- ROSWIKI. *About ROS*. 2018. Disponível em: [⟨http://www.ros.org/about-ros/⟩](http://www.ros.org/about-ros/). 2
- THORPE, C. et al. *Dependable Perception for Robots*. [S.l.], 2003. 2
- TRANZATTO, M. et al. *ethz piksi ros*. Zurique: [s.n.], 2018. Disponível em: [⟨https://github.com/ethz-asl⟩](https://github.com/ethz-asl). 4.2.4

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Salvador, Novembro de 2018.